DIE NATURWISSENSCHAFTEN

20. Jahrgang | 23. September 1932 | Heft 39

Das Langmuirsche Plasma.

Von RUDOLF SEELIGER, Greifswald.

Um dies gleich vorwegzunehmen: Nicht mit dem Plasma der Biologen, der Grundsubstanz der tierischen und pflanzlichen Zellen, wollen wir uns im folgenden beschäftigen, sondern mit einem rein physikalischen Gebilde, das neuerdings in der Theorie der ionisierten Gase eine große Rolle spielt und mit jenem Plasma nur den allerdings recht anschaulich gewählten Namen gemeinsam hat. Es ist ein makroskopisch strukturloses und als ganzes neutrales Gemisch von Elektronen, Ionen, normalen und angeregten Atomen und von Lichtquanten, das einem elektrischen Feld ausgesetzt ist. Bekannt ist es auch dem Laien in der Sonderform, die man als positive Säule bezeichnet und in den Großstadtnächten bewundern kann; in ständig zunehmendem Maß dient es da zur Reklamebeleuchtung, eingezwängt in die zu Buchstaben, Figuren u. dgl. geformten Leuchtröhren. Faßt man das Plasma auf als ein einem elektrischen Feld ausgesetztes Gemisch von Gasen, im einfachsten Fall des „Elektronengases", des „Ionengases" und des „Atomgases", so sieht man am besten so ungefähr ein, worum es sich bei der folgenden theoretischen Diskussion handelt: erstens muß im stationären Zustand dies Gemisch im energetischen, im konvektiven und im Dissoziationsgleichgewicht sein, zweitens wird man erwarten können, daß sich in ihm Vorgänge wie Dichteschwankungen, Wellen, Energieaustausch mit der Umgebung u. dgl. abspielen, die den aus der klassischen kinetischen Gastheorie bekannten analog sind, drittens endlich sind seine geladenen Komponenten elektrischen Feldkräften ausgesetzt, die viel intensivere und mannigfachere innere Koppelungen bedingen als die rein mechanischen, nur durch Stöße verursachten der gewöhnlichen Gastheorie. Nimmt man nun noch die angeregten Atome und die Lichtquanten als Komponenten des Gemisches hinzu und bedenkt, daß alle Komponenten in enger Wechselwirkung miteinander stehen, so übersieht man ohne weiteres, daß man es mit sehr komplizierten Verhältnissen zu tun hat. Die Entwicklung der Theorie des Plasmas geht nun in letzter Zeit mehr und mehr dahin, von möglichst allgemeinen statistischen Überlegungen auszugehen, und wir wollen auch in den folgenden referierenden Betrachtungen diesen Gesichtspunkt in den Vordergrund stellen. Allerdings wird sich dabei dem heutigen Stand der Theorie entsprechend eine Auflösung in gewisse Teilprobleme nicht vermeiden lassen. Sie ist auch nicht nachteilig, wenn man darüber die großen Zusammenhänge dieser Teilprobleme untereinander nicht vergißt.

In Wirklichkeit hat man es natürlich stets zu tun mit einem Plasma, das in ein meist zylindrisches Entladungsgefäß eingeschlossen ist und als „positive Säule" (einer Glimmerentladung oder Bogenentladung) bezeichnet wird. Wie sich gezeigt hat [SCHOTTKY, TOWNSEND, SEELIGER (1)], findet dann ein Abtransport von Ladungsträgern durch Diffusion an die Rohrwand statt, und zwar in der Weise, daß sich ein radiales Querfeld ausbildet und der Wandstrom ambipolar, d. h. im ganzen neutral ist. Wie man ferner zeigen kann, ist das in der Säule liegende Feld, das in axialer Richtung konstant ist, Oberflächenladungen auf der Rohrwand zuzuschreiben [OLLENDORFF und SEELIGER (2)]. Wir wollen nun aber erst einmal die Sachlage durch Abtrennung zweier Teilprobleme vereinfachen, indem wir von allen Randstörungen absehen und das Feld im Plasma als gegeben voraussetzen; wir wollen also alle Effekte, die durch Gefäßwände bedingt sind und ebenso die Frage nach der Herkunft des Feldes vorläufig ignorieren. Dies ist im Rahmen der uns zunächst interessierenden Fragen möglich, ohne physikalisch dabei Wesentlichem Gewalt anzutun, aber wir müssen dafür natürlich verzichten auf die Diskussion mancher für die Theorie der eigentlichen Säule typischen und praktisch wichtigen Fragen, z. B. auf die Untersuchungen der Trägerbilanz und der Energiebilanz. Wir arbeiten also zunächst mit einem Idealmodell, und es ist deshalb noch einiges zu sagen über die Berechtigung dazu. Denn man darf allgemein nicht einfach das Plasma unendlich ausgedehnt in der Richtung senkrecht zum Feld annehmen, weil man dann nicht ohne weiteres Homogenität in der Feldrichtung voraussetzen dürfte. In der Säule wird diese axiale Homogenität ermöglich dadurch, daß die in jedem Querschnitt neugebildeten Träger an die Wand abströmen, soweit sie nicht durch Wiedervereinigung im Gas verloren gehen. Man könnte zwar daran denken, im sog. „flachen Rumpf" [HOLM, GÜNTHERSCHULZE (3)] eine Realisierung unseres Modells zu sehen; dies würde aber nur gelten für genügend kleine Werte von $\mathfrak{E}/p$ = Feldstärke : Gasdruck, wo noch keine oder keine merkliche Ionisation durch Stoß stattfindet, und man wird sich deshalb mit einer angenäherten Realisierung zufrieden geben müssen und etwa das der Achse benachbarte Gebiet der Säule, wo die radiale Komponente der Feldstärke und der radiale Konzentrationsgradient der Träger zu vernachlässigen ist, als einen einigermaßen brauchbaren Ausschnitt aus unserem isotropen Plasma ansehen können.

Wie Sondenmessungen ergeben haben [LANGMUIR, dann LÜBCKE, EMELEUS, HIRCHERT und SEELIGER u. a. (4)], sind im Plasma die Elektronengeschwindigkeiten nach dem MAXWELLschen Gesetz verteilt. Dies kann man sich so veranschaulichen, daß sich über die mittlere Drift in der Feldrichtung die ungeordnete Maxwellverteilung lagert, d. h. daß sich ein MAXWELLsches Elektronengas mit einer mittleren sozusagen hydrodynamischen Fortschreitungsgeschwindigkeit durch das Atomgas bewegt. Man kann deshalb dem Elektronengas eine Temperatur T_-, die „Elektronentemperatur", im Sinne der klassischen Thermodynamik zuschreiben, die jedoch verschieden, und zwar größenordnungsmäßig (10^3 bis 10^4mal) größer ist, als die Gastemperatur, so daß also das Elektronengas und das Atomgas nicht im thermischen Gleichgewicht sind. Wie sich ferner, ebenfalls experimentell, gezeigt hat [LANGMUIR (5)], stellt sich diese Maxwellverteilung spontan sehr rasch her, z. B. aus einer ursprünglich geordneten Bewegung. Man kann dies auch so ausdrücken, daß diese Maxwellverteilung außerordentlich unempfindlich gegen Störungen ist in dem Sinn, daß solche Störungen sehr rasch abklingen. Wie sich endlich gezeigt hat, ist die (für jedes Gas charakteristische) Elektronentemperatur von der Feldstärke $\mathfrak{E}$ und dem Gasdruck p abhängig, jedoch nur in der Kombination $\mathfrak{E}/p$. Damit sind zugleich die drei theoretischen Hauptprobleme gekennzeichnet, nämlich: 1. Wie kommt die Maxwellverteilung zustande? 2. Welcher Mechanismus bedingt ihre rasche Einstellung? und 3. Wie kann man die Elektronentemperatur aus den Versuchsbedingungen finden? Es hängen diese drei Fragen, vor allem 1. und 2., natürlich eng miteinander zusammen, und wenn wir sie hier voneinander abtrennen, so ist dies zwar vor allem bedingt durch den derzeitigen Stand der Forschung, andererseits aber doch physikalisch nicht ganz ungerechtfertigt.

Was bisher zu diesen Fragen zu sagen war, ist im wesentlichen Negatives; aber auch dies ist wertvoll, weil es die theoretischen Möglichkeiten nicht nur überhaupt einengt, sondern bereits so weit einengt, daß nur noch ganz bestimmte Arbeitshypothesen übrig bleiben. Vergegenwärtigt man sich die Sachlage im Plasma in ihrer ganzen tatsächlichen Kompliziertheit —elastische Elektronenstöße, Quantenstöße mit Anregung und Ionisation, Stöße zweiter Art usw. —, so wird man sich nicht wundern, daß es noch nicht gelungen ist, die Elektronentemperaturen quantitativ zu berechnen und wird hierin jedenfalls noch keine grundsätzlichen Schwierigkeiten sehen müssen. Man wird aber andererseits auch den bisherigen Bemühungen, z. B. durch spezielle Annahmen über die Ausbeutefunktionen die Elektronentemperatur quantitativ zu berechnen und eine Maxwellverteilung zu erhalten [GABOR (6)] doch wohl zunächst nur einen methodischen Wert zuschreiben dürfen. Anders aber liegen die Dinge, wenn man an eine Beantwortung der beiden ersten Fragen geht. So kann man zeigen [DRUYVESTEYN (7)], daß die elastischen Zusammenstöße zwischen den Elektronen und den Gasatomen jedenfalls nicht zu einer Maxwellverteilung führen; für den stationären Zustand, in dem die elastischen Energieverluste den Energiegewinn im Feld gerade kompensieren, resultiert eine Verteilung, die, abweichend von der MAXWELLschen, im Exponenten die vierte Potenz der Geschwindigkeit enthält. Es ist das bereits eine nicht unwichtige Erkenntnis, aber viel weiterführend sind die Ergebnisse einer großen Zahl vielfach variierter Versuche [LANGMUIR (5)], in denen es sich letzten Endes stets darum handelte, ein homogenes Elektronenbündel in ein Plasma hineinzuschießen und die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen zu untersuchen, nachdem sie dort eine bestimmte Strecke zurückgelegt hatten. Was sich zeigte, wurde oben bereits erwähnt und ist anders ausgedrückt in der Hauptsache, daß ein Elektron zwischen zwei, durch die anderweitig bekannten mittleren Weglängen definierten Zusammenstößen mit einem Atom, einem Ion oder einem anderen Elektron noch viele ungeordnete Änderungen seiner Bewegungsgröße durchmacht und daß seine Energie Werte annehmen kann, die viel größer sind, als die aus der totalen Feldarbeit maximal überhaupt zu erwartenden. Es muß also irgendeinen noch unbekannten Mechanismus geben, der den Elektronen in einem Plasma nach Größe und Richtung ungeordnete Impulse erteilt, und zwar mit einer Intensität und Häufigkeit, die im Rahmen der gewöhnlichen Stoßkinetik nicht zu verstehen sind. Man hat natürlich nach den verschiedensten Richtungen hin versucht, einen solchen Mechanismus zu ersinnen [DITMER, FRANCK, LANGMUIR, PENNING u. a. (8)], aber der Weg zur Lösung scheint einerseits nicht so geheimnisvoll, andererseits doch versteckter zu sein, als man zunächst dachte, nämlich verborgen in gewissen Feinheiten der Plasmastatistik.

Was die Lösung bringen kann, ist nur ein wesentlich neuer Gedanke in der allgemeinen statistischen Analyse, und dieser ist zu sehen in einer Kombination gewisser Überlegungen aus der DEBYE-HÜCKELschen Theorie der starken Elektrolyte mit Überlegungen aus der allgemeinen Theorie der Schwankungserscheinungen. Soweit man an diese Dinge grob anschaulich herankommen kann, handelt es sich um folgendes: Das makroskopisch konstante und homogene Feld im Plasma besitzt in Wirklichkeit eine räumliche und zeitliche Feinstruktur, die von den in den Ionenfeldern angesammelten Elektronenwolken herrührt; nach dem Boltzmannprinzip kann man die mittlere Dichteverteilung der Elektronen in diesen kleinen Ladungswolken angeben und daraus die Struktur des „Mikrofeldes" erschließen. Die vielen Inhomogenitäten des Mikrofeldes wirken nun auf die Elektronen analog etwa wie die Inhomogenitäten eines trüben Mediums auf Lichtwellen, d. h. sie erteilen den Elektronen ungeord-

nete Impulse, woraus man bereits erkennt, daß auf diesem Wege ein Mechanismus von grundsätzlich der gesuchten Art zustande kommen kann. Ob so das gesteckte Ziel wirklich zu erreichen ist, ist eine wesentlich quantitative Angelegenheit und kann nur durch die tatsächliche Durchführung der naturgemäß recht komplizierten Rechnungen erkannt werden. Nachdem das Ergebnis zuerst [LANGMUIR (9)] negativ ausgefallen war, hat dann die verfeinerte Durcharbeitung [GABOR (10)] zu einem, wie es scheint, vollen Erfolg geführt; die weitreichende methodische und physikalische Bedeutung dieser Untersuchung dürfte es rechtfertigen, kurz auf die Einzelheiten einzugehen. Die elektrostatischen Kraftwirkungen auf ein Plasma lassen sich charakterisieren durch den quadratischen Mittelwert der Mikrofeldstärke und durch ihre mittlere Pulsationsfrequenz. Mit Hilfe dieser Größen kann man dann den zeitlichen Ausgleich einer kleinen Störung des statistischen Gleichgewichts des Elektronengases untersuchen, wenn man das Mikrofeld durch ein (die notwendigen rechnerischen Operationen ermöglichendes) schematisiertes Feld ersetzt, das mit derselben Pulsationsfrequenz zwischen den Mittelwertamplituden des wirklichen Mikrofeldes schwingt. Man erhält eine partielle Differentialgleichung für den stationären Zustand, in der — methodisch ganz ebenso wie in der EINSTEINschen Theorie der BROWNschen Bewegung — ein noch unbekanntes Glied so angesetzt wird, daß als stationäre Lösung eben die Maxwellverteilung resultiert, und diese Gleichung ermöglicht zum Schluß, die Relaxationszeit einer kleinen Störung zu berechnen. Im übrigen wollen wir nur noch auf ein Bedenken grundsätzlicher Art hinweisen, das vorzubringen naheliegt. Einerseits nämlich wirken „Stöße" definitionsgemäß im Sinne einer Verkürzung der mittleren Weglänge, andererseits hat man in der Beobachtung aller letzten Endes auf die übliche Beweglichkeitstheorie vom Typus der LANGEVINschen zurückgehenden Effekte ein Mittel an der Hand, sich über die tatsächliche Elektronenweglänge im Plasma zu orientieren. Die Frage ist, ob damit die nach der eben geschilderten Theorie zu fordernde Verkürzung der Weglänge noch verträglich bleibt, d. h., ob der Umwegfaktor, den die Theorie der Maxwellverteilung verlangt, nicht zu groß ist für die Theorie der Beweglichkeit. Aber auch hier scheint alles in Ordnung zu sein (GABOR), so daß wir also nun in der Tat im Besitze einer schönen geschlossenen Theorie dieses Teiles der Vorgänge im Plasma sein dürften.

Mit den Schwankungen der Mikrofeldstruktur hat gewisse Verwandtschaft eine Gruppe von Vorgängen im Plasma, die sog. „Plasmaschwingungen", die so mit in den Mittelpunkt einer kinetischen Theorie des Plasmas rücken. Experimentelle Befunde [PENNING, APPLETON und WEST u. a. (10)] ließen auf die Existenz spontaner elektrischer Schwingungen schließen (Frequenz bis hinauf zu 10^9 Hertz), die, unabhängig von den Konstanten des äußeren Stromkreises, dem Plasma selbst zuzuschreiben waren. Eine etwas systematischere Untersuchung hat dann, zusammen mit theoretischen Studien, den Mechanismus dieser Schwingungen schon einigermaßen erkennen lassen [LANGMUIR und TONKS (12)]. Offenbar handelt es sich um eine Art elektrischer Kompressionswellen, die aus zufälligen Störungen im Elektronengas entstehen; man hat sich vorzustellen, daß dabei die Elektronen relativ zu dem trägen Ionengas ihre Schwingungen ausführen, befähigt dazu durch die rücktreibende Kraft, die bei einer lokalen Störung der Neutralität des Plasmas entsteht, und nun ihrerseits wieder Oszillationen des Mikrofeldes um den raum-zeitlichen Mittelwert verursachend. Auf noch andere Arten spontaner Plasmaschwingungen, die Ionenschwingungen und die Strahlenschwingungen, deren Mechanismus schwerer zu verstehen ist, soll hier nicht eingegangen werden. Es sei nur noch hingewiesen auf die Möglichkeit, daß das Plasma auch erzwungene Schwingungen unter dem Einfluß eines äußeren Wechselfeldes ausführt, weil damit die Absorption kurzer elektromagnetischer Wellen und der Begriff der „Dielektrizitätskonstante" eines ionisierten Gases zusammenhängt [DÄNZER, HASSELBECK, GUTTON, TONKS u. a. (13)] und auch eine Anwendung auf die Heavisideschicht der Erdatmosphäre und auf die Metalloptik naheliegt.

Für die Diskussion der übrigen Eigenschaften des Plasmas müssen wir nun wieder zurückkehren zu den wirklichen, den Einfluß der Wände mitberücksichtigenden Verhältnissen, und zwar wollen wir uns zuerst mit der „Diffusionstheorie" der „positiven Säule" beschäftigen [SCHOTTKY, SEELIGER, TOWNSEND (1)]. Ausgehend von den Forderungen der Quasineutralität der Raumladung in der Säule und der Ambipolarität des Trägerstromes an die Wand kann man die Trägerbilanz zunächst ganz allgemein formulieren in der Form, daß in jedem Volumelement ebensoviele Elektronen und Ionen (Träger) erzeugt werden, wie unter der gemeinsamen Wirkung des Konzentrationsgefälles und der radialen Feldkraftkomponente an die Wand diffundieren. Man erhält dann lediglich unter der Annahme, daß die Ionisation proportional der Elektronendichte ist und daß im Gasraum keine Trägerverluste durch Wiedervereinigung stattfinden, ein System von Gleichungen, in dem als Parameter nur noch die radialen Fortschreitungsgeschwindigkeiten und die Bahngeschwindigkeiten der Träger vorkommen. Wenn man weiter annehmen darf, daß die Bahngeschwindigkeiten nur vom Gradienten (axiale Komponente der Feldkraft) abhängen, und wenn man durch den Ansatz: Fortschreitungsgeschwindigkeit = Beweglichkeit × Feldstärke die „Beweglichkeiten" einführt — die dann nach den üblichen Beweglichkeitstheorien vom Typus der LANGEVINschen nur noch die Bahngeschwindigkeiten als hier interessierende Parameter enthalten —, läßt sich jenes Gleichungssystem auf

eine Gleichung für den Gradienten reduzieren. Es ist das grundsätzlich insofern aufschlußreich, als es übersichtlich in schrittweisem Aufbau zeigt, daß die Bahngeschwindigkeiten der Träger im Mittelpunkt der Theorie stehen; würde man nicht nur für die Elektronen, sondern auch für die Ionen eine „Temperatur" einführen können, so würden also die beiden letzten Endes bestimmenden Parameter nur noch diese T_- und T_+ sein. Man hat aber noch einiges mehr über die Konstitution der Säule aussagen können; so z. B. hat sich gezeigt [LADENBURG (13)], daß das Ensemble der angeregten Atomzustände im thermischen Gleichgewicht mit dem Elektronengas ist und die Konzentrationen der Anregungszustände bei Kenntnis von T_- einfach aus dem Boltzmannprinzip berechnet werden können. Natürlich gilt dies alles zunächst nur unter idealisierenden Voraussetzungen, so z. B., daß keine negativen Ionen vorhanden sind, und insbesondere, daß die Gasdichte räumlich konstant ist. Grundsätzlich ist dies zwar nicht wesentlich, aber eine experimentelle Prüfung der Theorie würde vor allem wegen der unvermeidlichen radialen Inhomogenität (thermische Effekte) der Säule auf große Schwierigkeiten stoßen und Messungen des Gradienten [GÜNTHERSCHULZE, SEELIGER und LOMPE (15)] zeigen auch unmittelbar, daß tatsächlich die Verhältnisse recht kompliziert sind.

Bedenken gegen diese einfache Diffusionstheorie lassen sich geltend machen wohl in erster Linie bezüglich der in ihr steckenden Voraussetzungen über die Kinetik der Träger, insbesondere der positiven Ionen. Schon deshalb ist es erwünscht, die Theorie auf möglichst allgemeinen Voraussetzungen aufzubauen, und wir wollen zum Schluß noch versuchen, ohne viele Formeln die Grundlagen einer solchen allgemeineren Theorie [LANGMUIR und TONKS (12)] darzustellen, und zwar an dem auch praktisch wichtigsten Beispiel des axial symmetrischen Plasmas. Für die Elektronendichte n_- soll das Boltzmannprinzip gelten; für die Ionendichte n_+ ergibt sich ein allgemeiner Ansatz daraus, daß alle jeweils im Achsenabstand z erzeugten $2\pi z\,dz\,q_z$ Ionen nach außen strömen und im Achsenabstand r ihre Dichte $2\pi r j/v_{z,r}$ ist (j = radiale Ionenstromdichte), wobei aber im allgemeinen $v_{z,r}$ keine Ortsfunktion ist, sondern von der Entfernung $r-z$ des Aufpunktes vom Startpunkt abhängt. Die POISSONsche Potentialgleichung $\Delta V = -4\pi\varepsilon\,(n_+ - n_-)$, erhält man deshalb in Gestalt einer Integralgleichung, deren Lösung von den speziellen Annahmen über q_z und $v_{z,r}$ sowie den Randbedingungen abhängt und die radiale Potentialverteilung gibt. Wenn q proportional n_- ist und die freie Weglänge der Ionen sowie die Feldstärke so klein sind, daß die üblichen Beweglichkeitsansätze gelten, erhält man dasselbe Resultat wie nach der Diffusionstheorie; bemerkenswert ist jedoch, daß man dazu weder die Quasineutralität noch die Ambipolarität des Diffusionsstromes einführen mußte. In der Potentialgleichung sind zunächst noch unbekannt und müssen als numerisch vorgegebene Parameter betrachtet werden die Elektronentemperatur T_-, die Elektronendichte n_0 in der Achse und die Ionisation q bzw. der Ionisierungsfaktor β in dem Ansatz $q = \beta \cdot n_-$; Ziel einer vollständigen Theorie muß es sein, diese Parameter aus den Versuchsdaten angeben zu können. Die Durchführung dieses Programms führt nun in der Tat letzten Endes zu ebensovielen Gleichungen, wie derartige Parameter auftreten. Als durch die Versuchsbedingungen vorgegebene hat man anzusehen den Rohrradius, den Gasdruck, die Gastemperatur bzw. Temperatur der Rohrwand und die Entladungsstromstärke. Als Parameter im obigen Sinne, d. h. als von den Versuchsbedingungen eindeutig abhängige, zu bestimmende Größen ergeben sich der Gradient, die Elektronendichte in der Achse, die Elektronentemperatur, die positive Ionenstromdichte an der Rohrwand und der Ionisierungsfaktor. Dementsprechend muß man 5 Gleichungen aufstellen, und diese sind nun die folgenden: 1. Die Ionisierungsgleichung. Sie gibt den Ionisierungsfaktor in Abhängigkeit von der Elektronentemperatur und kommt hinaus auf das Integral über die Maxwellverteilung unter Berücksichtigung der Ionisierungsausbeute als Funktion der Elektronengeschwindigkeit, wofür eine der empirischen Ausbeutefunktionen benutzt werden kann. 2. Die Ionenstromgleichung. Sie gibt den radialen Ionenstrom, ausgehend von dem Ansatz, daß alle im Gas erzeugten Ionen zur Wand gehen, d. h. daß keine Wiedervereinigungsverluste im Gas eintreten. 3. Die Gleichgewichtsgleichung. Es ist diese Gleichung die eigentliche Bestimmungsgleichung für die Elektronentemperatur und als solche wesentlich neu gegenüber den von allen früheren Theorien gelieferten Zusammenhängen; wie sich zeigt, ist $T^{e/i}$ proportional dem Produkt aus Rohrradius und Ionisierungsfaktor. 4. Die Beweglichkeitsgleichung. Sie gibt, ausgehend von einem der üblichen Ansätze für die Fortschreitungsgeschwindigkeit der Elektronen vom Langevintypus einen Zusammenhang zwischen dem Entladungsstrom und dem Gradienten, in den n_0 und T_- als Parameter eingehen. 5. Die Energiebilanzgleichung. Sie verbindet die Stromarbeit mit den Energieverlusten durch Impulsübertragung an die Rohrwand, Strahlung, Wärmeproduktion im Gas usw. Damit ist der Kreis geschlossen und prinzipiell alles geleistet, was von einer vollständigen Theorie zu verlangen ist. Im einzelnen und quantitativ diese 5 Gleichungen zu formulieren, ist zum Teil äußerst kompliziert, zum Teil noch nicht ganz befriedigend möglich, weil die erforderliche Kenntnis der Elementarprozesse noch einige — allerdings sich in letzter Zeit mehr und mehr schließende — Lücken aufweist.

Literatur: 1. W. SCHOTTKY, Phys. Zs. **25**, 342, 635 (1924) — J. TOWNSEND, Phil. Mag. **11**, 112 (1931) — R. SEELIGER, Phys. Zs. **33**, 273 (1932). — 2. F. OLLENDORFF u. R. SEELIGER, Phys. Zs. **33**, 577 (1932). —

3. R. HOLM, Phys. Zs. **25**, 497 (1924) — A. GÜNTHER-SCHULZE, Zs. f. Phys. **22**, 70 (1924). — 4. J. LANGMUIR u. MOTT-SMITH, Gen. Elektr. Rev. **27**, 449, 538, 616, 672, 812 (1923). Weitere Literatur bei R. SEELIGER u. R. HIRCHERT, Ann. d. Phys. **11**, 817 (1931). — 5. J. LANGMUIR, Atti Congr. Como 1927 — Zs. f. Phys. **46**, 271 (1928). — 6. D. GABOR, Zs. f. Phys. im Druck. — 7. M. DRUYVESTEYN, Physica **10**, 61 (1930). — 8. DITMER, Science **60**, 392 (1924). Phys. Rev. **26**, 585 (1925) — J. LANGMUIR, vgl. 5 — J. FRANCK, Zs. f. Phys. **47**, 509 (1928) — F. M. PENNING, Nature **118**, 301 (1926). — 9. J. LANGMUIR, Proc. Nat. Acad. U. S. A. **14**, 627 (1928). — 10. D. GABOR, noch nicht veröffentlicht. — 11. PENNING, Physica **6**, 241 (1926) — E. V. APPLETON u. A. G. D. WEST, Phil. Mag. **45**, 879 (1923) — J. S. WEBB u. PARDUE, Phys. Rev. **32**, 946 (1928) — G. W. FOX, Phys. Rev. **35**, 1066 (1930). — 12. L. TONKS u. J. LANGMUIR, Phys. Rev. **33**, 195 (1928) — J. LANGMUIR, vgl. 9. — 13. H. DÄNZER, Ann. d. Phys. **2**, 27 (1929) — S. BENNER, Naturwissensch. **17**, 120 (1929) — L. BERGMANN u. W. BÖSING, Naturwissensch. **17**, 1041 (1929) — W. HASSELBECK, Naturwissensch. **20**, 477 (1932) — C. u. H. GUTTON, Ann. de Physique **13**, 62 (1930) — L. TONKS, Phys. Rev. **37**, 1458 (1931) — H. STEENBECK, Zs. f. Phys. **76**, 260 (1932). — 14. R. LADENBURG, Naturwissensch. **19**, 531 (1931). — 15. A. GÜNTHER-SCHULZE, Zs. f. Phys. **41**, 718; **42**, 763 (1927) — R. SEELIGER u. A. LOMPE, erscheint in den Ann. d. Phys. — 16. J. LANGMUIR u. L. TONKS, Phys. Rev. **34**, 876 (1929).

Das Energieproblem der Astrophysik.

Von H. SIEDENTOPF, Jena[1].

Es ist die Aufgabe der Astrophysik, den Bau und die Entwicklung der Sterne und des Weltalls zu erforschen. Im Mittelpunkt dieses Problemkreises stehen die Fragen: „Woher kommt und wo bleibt die von den Sternen ausgestrahlte Energie?" Der Versuch zu ihrer Beantwortung führt uns unmittelbar in die vorderste Kampflinie des Zweifrontenkrieges der physikalischen Forschung, der mit den Problemen „Raum und Zeit" und „Materie und Energie" ausgefochten wird und damit an die Grenzen physikalischer Forschungsmöglichkeit überhaupt.

Die Grundlage jeder naturwissenschaftlichen Erkenntnis ist die Erfahrung. Dabei ist nun der Astrophysiker sehr im Nachteil gegenüber dem irdischen Laboratoriumsphysiker, denn er kann, mit wenigen Ausnahmen, nur Zustände beobachten, nicht aber bewußt eingeleitete Vorgänge; er kann nicht „experimentieren". Die himmlischen Vorgänge spielen sich im allgemeinen in Zeiträumen von Milliarden von Jahren ab, denen gegenüber die wenigen Jahrzehnte astrophysikalischer Beobachtung nicht zählen. Andererseits haben wir den Vorteil, die Gesamtheit der physikalischen Beobachtungsergebnisse in Gestalt der physikalischen Theorien unseren Untersuchungen zugrundelegen zu können. Allerdings kann das nur unter gewissen Vorbehalten geschehen. Die physikalischen Erfahrungen, auf denen die Theorie beruht, sind auf ein enges zeitliches und räumliches Intervall der Welt beschränkt, und es ist ein kühner Optimismus zu glauben, daß unsere Naturgesetze überall im Raum und für alle Zeiten ihre Gültigkeit behalten. Diese Extrapolation ist vorläufig reine Glaubenssache, die sich höchstens nachträglich durch den Erfolg rechtfertigen läßt.

Zu dieser prinzipiellen Schwierigkeit treten nun noch eine Reihe von technischen Schwierigkeiten. Die Himmelskörper benachrichtigen uns von ihrer Existenz durch ihre Strahlung. Die Eigenschaften, die die Strahlung charakterisieren, sind Richtung, Intensität und Frequenz. Auf den Schlüssen, die wir aus diesen Eigenschaften ziehen, beruhen alle unsere Kenntnisse über die Verteilung der Sterne und Sternsysteme im Weltall und über den Aufbau der Einzelsterne. Die Entzifferung dieser Rätselschrift wird uns nun außerordentlich erschwert. Von der enormen Strahlung, die die Sterne aussenden, gelangt nur ein verschwindend kleiner Bruchteil in unsere Beobachtungsinstrumente. Diesen Bruchteil müssen wir durch die ständig unruhige und trübe Erdatmosphäre hindurch beobachten, die uns außerdem noch das ganze ultraviolette und den größten Teil des ultraroten Spektrums abschneidet. Alle diese Einflüsse bringen es mit sich, daß der Wert und die Beweiskraft von astronomischen Beobachtungen oft erheblich herabgesetzt wird.

Um so bemerkenswerter sind die Fortschritte, die die astrophysikalische Beobachtungstechnik allen diesen Schwierigkeiten zum Trotz in den letzten Jahrzehnten gemacht hat. Wir kennen heute Objekte, deren Entfernung von der Größenordnung 100 Millionen Lichtjahre ist. In der Astronomie ist es bekanntlich üblich, solch große Entfernungen in Zeitmaß anzugeben, der Zeit nämlich, die das Licht, unser einziger Bote, zur Zurücklegung der Entfernung braucht. Wie von DE SITTER bemerkt wurde, erscheint es in diesem Zusammenhang interessant, auf das Mißverhältnis zwischen den 3 räumlichen und der zeitlichen Dimension der Welt hinzuweisen. Eine Sekunde erscheint uns eine kurze Zeit, eine Lichtsekunde $c = 300000$ km ist dagegen schon eine recht beachtliche Entfernung. Es ist schwer zu sagen, woher diese subjektive Empfindung rührt, daß 1 Sekunde zeitlich sehr wenig, aber 1 Sekunde räumlich sehr viel ist, vielleicht kommt es einfach davon, daß uns die Welt räumlich betrachtet abwechslungsreicher erscheint als zeitlich betrachtet, da die uns zu Gebote stehenden Geschwindigkeiten klein sind gegen die Lichtgeschwindigkeit. Wenn wir die Welt als Ganzes betrachten, so verschwindet dieses Mißverhältnis, denn wie wir nachher sehen werden, ist die Welt ein recht vergängliches Gebilde, das sich in Zeiträumen von der Größenordnung 1 Milliarde Jahre bereits wesentlich ändert, während wir für ihren Radius, von der Vor-

[1] Jenaer Antrittsvorlesung zur Erlangung der venia legendi für Astronomie.

stellung der geschlossenen Welt ausgehend, ebenfalls über eine Milliarde Lichtjahre annehmen müssen.

Ähnlich, wie mit Raum und Zeit, steht es auch mit Materie und Energie. Wir wissen, daß die Materie nur eine bestimmte Form von Energie ist, daß eine Masse durch Energieaufnahme größer wird und daß umgekehrt Materie in Energie übergehen kann. Doch sind die Einheiten, in denen wir beides messen, äußerst verschieden, nämlich um einen Faktor $c^2 = 9.10^{20}$. Ein Gramm ist sehr wenig Materie, doch repräsentiert es einen Energievorrat von 10^{21} erg, oder in anschaulicherem Maß ausgedrückt, 20 Millionen Kilowattstunden, für unsere Begriffe eine sehr große Energiemenge, groß, weil wir nicht gewohnt sind, sie zu handhaben. Betrachten wir nun aber die Bausteine von Materie und Energie, so verschwindet das Mißverhältnis wiederum. Die Materie bzw. Energie ist aufgebaut aus den negativ geladenen Elektronen von bestimmter sehr kleiner Masse, den positiv geladenen Protonen oder Wasserstoffkernen von 2000fach größerer Masse, die sich auch zu komplizierteren Atomen miteinander vereinigen können, den Lichtquanten, die keine elektrische Ladung, aber jede beliebige Masse haben können — die massigsten, die wir kennen, sind gerade von der Masse eines Protons — dazu kommt ferner noch die Wechselwirkungsenergie — COULOMBsche Kräfte zwischen geladenen, NEWTONsche Gravitationskräfte zwischen ungeladenen Teilchen — und die kinetische Energie, die ebenfalls jeden Wert annehmen können.

Etwas fraglich ist es noch, ob auch die Wechselwirkungsenergie Masse hat. Es erscheint zunächst ungewohnt, auch der potentiellen Energie Masse zuzuschreiben, z. B. zu sagen, daß zwei sich anziehende Körper schwerer, zwei sich abstoßende leichter werden, wenn man sie voneinander entfernt; aber das Gesetz von der Erhaltung der Energie dürfte es verlangen. Hätte die potentielle Energie keine Masse, so würde z. B. bei Kontraktion ein Stern infolge der Temperaturerhöhung, also der Steigerung der kinetischen Energie der einzelnen Teilchen, an Masse zunehmen, trotzdem er gleichzeitig Energie in der Form von Strahlung nach außen hin abgibt. Das ist aber nicht denkbar, wenn Energie immer nur umgewandelt, nicht aber erzeugt werden kann.

Aus diesen Bestandteilen — Elektronen, Protonen, Quanten — sind nun die Sterne aufgebaut. Die Wechselwirkungskräfte sind bestrebt, den Stern zusammenzuziehen, während die kinetische und Strahlungsenergie dem entgegenwirken und zur Ausbildung eines Gleichgewichtszustandes führen. Die Eigenschaften eines Sternes, die wir durch Beobachtung ermitteln können, sind immer nur Integralwerte, wie Masse, Radius, mittlere Dichte, effektive Temperatur und die für uns in diesem Zusammenhang wichtigste Größe, die Leuchtkraft, die gleich dem Gesamtbetrag der im Sterninneren pro Zeiteinheit erzeugten Energie ist. Die Leuchtkraft ist im allgemeinen um so größer, je größer die Masse und je geringer die mittlere Dichte eines Sternes. Die von den hellsten Sternen ausgesandte Energie erreicht im Jahrtausend einen Betrag, der der Masse der Erde gleichkommt. Bliebe die Ausstrahlung immer die gleiche, so müßten sich die Sterne großer Leuchtkraft nach etwa 100 Milliarden Jahren völlig aufgezehrt haben, während die kleinen Sterne bequem 10^{15} Jahre Ausstrahlung aus ihrem Massenvorrat ausgeben könnten. Diese Zahlen geben uns etwa den Maximalwert für die Zeitskala der Sternentwicklung an, unter der Voraussetzung, daß irgendein Mechanismus existiert, der eine völlige Umwandlung von Materie in Strahlung ermöglicht. Eine untere Grenze für die Zeitskala gewinnen wir aus dem Alter der festen Erdkruste, das nach geologischen und physikalischen Methoden zu rund 1 Milliarde Jahre veranschlagt wird.

Die uns erreichende Sternstrahlung verrät nichts davon, wie sie erzeugt worden ist. Sie ist im Sterninneren so oft absorbiert und reemittiert und gestreut worden, daß sie von ihrer ursprünglichen, vermutlich sehr kurzen Wellenlänge auf langwellige, sichtbare Strahlung transformiert ist. Neben dieser sichtbaren Sternstrahlung beobachten wir nun aber noch eine ganz kurzwellige Strahlung, die vollkommen ungerichtet ist und nicht von den Sternen, sondern aus dem interstellaren Raum zu kommen scheint. Die kurzwelligste Komponente dieser heterogenen Strahlung hat eine Masse von der Größenordnung der Protonenmasse, scheint also den Nachweis zu erbringen, daß irgendwo im Weltall eine völlige Umwandlung von Materie in Strahlung durch gegenseitige Vernichtung eines Protons und eines Elektrons tatsächlich vorkommt. Wir haben also den merkwürdigen Fall, daß uns die Strahlung entweder sagt, wo sie herkommt, nämlich die sichtbare Strahlung, oder aber, wie sie entstanden ist, das tut die durchdringende Höhenstrahlung; dagegen können wir nicht Heimat und Abstammung gleichzeitig feststellen.

Welche physikalischen Möglichkeiten hat nun ein Stern, um die ausgestrahlte Energie zu erzeugen? Der zuerst vorgeschlagene und in gewisser Hinsicht einfachste Mechanismus zur Energiegewinnung ist die Kontraktion, wobei die potentielle Energie, d. h. NEWTONsche Wechselwirkungsenergie frei wird. Doch ist dieses Unternehmen für den Stern nicht sonderlich rentabel, der Nutzeffekt der Kontraktion ist nämlich gering, da der größte Teil der gewonnenen Energie im Stern bleibt und dort zur Erhöhung der Temperatur, d. h. der kinetischen Energie, der Ionisationsenergie und der Strahlungsenergie angelegt wird. Diese inneren Anleihen sind auch bei einem späteren Stadium der Kontraktion, wenn nämlich ein Grundzustand erreicht ist, über den hinaus die Kontraktion nicht fortschreitet, zum größten Teil nicht wieder greifbar, sondern bleiben „eingefroren".

Der Grundzustand ist dadurch bestimmt, daß eine Kontraktion über ihn hinaus nur bei Energiezufuhr von außen möglich wäre. Den Zustand der

dabei hochverdichteten Materie im Sterninneren bezeichnet man als entartet. Die Dichte beträgt dann etwa das Millionenfache der des Wassers. Wir kennen nun eine Anzahl solcher Sterne, die sich im überdichten entarteten Grundzustand zu befinden scheinen, die sog. weißen Zwergsterne. Da sie aber noch ausstrahlen, trotzdem sie sich nicht mehr kontrahieren können, sollte man erwarten, daß noch eine andere Energiequelle in ihnen tätig ist.

Die Hauptschwierigkeit der Kontraktionstheorie liegt darin, daß die verfügbare Energie nicht groß genug ist, um außer bei den schwächsten Sternen die Ausstrahlung auch nur für geologische Zeiträume zu decken. Daß außer der Kontraktion noch eine andere Energiequelle wirksam sein muß, zeigt sich besonders eindrucksvoll an folgendem Beispiel: Unter den hellsten Sternen gibt es Veränderliche, deren Lichtwechsel durch Pulsation hervorgerufen wird. Da bei diesen Sternen die Periode der Eigenschwingung von der mittleren Dichte abhängt, müßte bei Kontraktion infolge der Dichteänderung die Periode kürzer werden. Die Beobachtung zeigt aber, daß die Perioden fast völlig konstant bleiben, eine merkliche Dichteänderung also nicht stattfindet. Ganz allgemein halten wir es zwar für wahrscheinlich, daß die Sterne sich im Laufe ihrer Entwicklung kontrahieren, daß aber noch andere Energiequellen vorhanden sein müssen, um die Ausstrahlung zu decken.

Während also die bisher betrachtete Kontraktion im Großen nicht den gewünschten Erfolg für den Stern brachte, so stehen die Aussichten günstiger bei einer Kontraktion im Kleinen, wobei das Gesamtvolumen des Sterns der Größenordnung nach konstant bleiben kann, aber die einzelnen Elementarteilchen sich zu größeren Einheiten zusammenschließen. Wenn der Stern seine Protonen und Elektronen dazu überreden kann, sich zu Atomen höherer Ordnungszahl zu vereinigen, so wird dabei ein Energiebetrag frei, der sich auf rund 1 % der Gesamtmasse der vereinigten Teilchen beläuft. Dieser Betrag reicht hin, um die Ausstrahlung für einige Milliarden Jahre bei den hellsten und 100 Billionen Jahre bei den schwächsten Sternen zu decken. Soweit wäre also alles in schönster Ordnung, es fragt sich nur, ob diese postulierten Vorgänge tatsächlich möglich sind. Theoretisch verständlich sind sie unbedingt, es sind ja nur die Umkehrvorgänge der beobachteten radioaktiven Prozesse, und wir wissen, daß alle Elementarprozesse in der Natur in beiden Richtungen verlaufen können. Einen indirekten Beweis für das Vorkommen von Umwandlungsvorgängen im Weltall gibt uns das Hauptband der durchdringenden Höhenstrahlung; die Energie eines solchen Lichtquants ist gerade von der Größenordnung der bei Umwandlungsvorgängen freiwerdenden Energiebeträge, also maximal 1 % der Masse eines Atomkerns.

Es sind in letzter Zeit ziemlich eingehende Überlegungen über den Aufbau von Elementen als Energiequelle angestellt worden im Anschluß an die GAMOWsche Theorie des Atomkernes. Es zeigt sich dabei, daß die praktische Durchführung auf große Schwierigkeiten stößt, und daß man zu oft recht willkürlichen Zusatzhypothesen greifen muß, um alle beobachteten Eigenschaften der Sterne zu erklären. Wir wollen hier nur die Hauptschwierigkeit herausgreifen. Der Betrag der erzeugten Energie hängt ab von der Häufigkeit des Elementarprozesses, also der Wahrscheinlichkeit, daß ein Proton in einen Kern dringt und drinnen bleibt. Diese Wahrscheinlichkeit steigt stark mit der Geschwindigkeit der freien Protonen, also mit der Temperatur. Die Energieerzeugung würde also mit einer hohen Potenz der Temperatur wachsen. Die nötigen Temperaturen dürften in der Gegend von 10—100 Millionen Grad liegen.

Was sagt nun die Theorie des Sternaufbaues dazu? Wir stellen die Forderung, daß die Sterne sich in einem stabilen Gleichgewicht befinden, d. h. eine kleine Störung darf nicht beliebig anwachsen, sondern nur zu Schwingungen mit abnehmender Amplitude um die Gleichgewichtslage führen; auch Schwingungen mit zunehmender Amplitude sind natürlich verboten. Die Bedingung für die Stabilität läßt sich folgendermaßen ausdrücken: Die Energieerzeugung darf nicht wesentlich von den Zustandsgrößen Temperatur und Dichte abhängen, muß aber mit zunehmender Temperatur wenigstens etwas steigen. Die strenge Erfüllung dieser Bedingung ist vor allem bei Sternen großer Masse wichtig, bei den kleinen lichtschwachen Sternen sind die Stabilitätsgrenzen nicht so eng.

Würde die Energieerzeugung mit steigender Temperatur stark wachsen, wie es bei der Umwandlungshypothese der Fall sein müßte, so würde eine kleine Kontraktion eine derart starke Steigerung der Energiequellen bewirken, daß Schwingungen mit zunehmender Amplitude zustande kommen müßten. Trägt also die Umwandlung von Elementen wesentlich zur Deckung der Ausstrahlung bei, so ist es schwer zu verstehen, wie die Sterne stabil sein können. Man kann diesem Schluß höchstens durch die Zusatzhypothese entgehen, daß die Energieerzeugung verzögert von Temperatur und Dichte abhängt, so daß sie gegenüber kurzperiodischen Änderungen von Temperatur und Dichte unverändert bleibt, andererseits ein langsames Zusammensinken des Sternes verhindert.

Es wurde schon vorhin erwähnt, daß ein Quant der kurzwelligsten Komponente der Höhenstrahlung die Masse eines Protons hat. Wenn solche Vernichtungsvorgänge auch im Inneren der Sterne vorkommen können, so stände dem Stern damit eine Energiequelle von wesentlich größerer Ergiebigkeit zur Verfügung als bei der Umwandlung von Elementen. Der Stern würde im Laufe seiner Entwicklung an Masse verlieren und sich von einem Riesenstern zu einem Zwergstern entwickeln. Die Zeitdauer dieses Vorganges wäre von der Größenordnung 100 Billionen Jahre.

Die Materievernichtung wird erst bei wesentlich höheren Temperaturen vor sich gehen können

als die Materieumwandlung, nämlich wenn die kinetische Energie der Teilchen ungefähr von der Größenordnung der Ruhmasse des Protons geworden ist. Gleichgewicht zwischen Materie und Strahlung herrscht bei einer Temperatur von rund einer Billion Grad; wenn also Vernichtungsprozesse im Stern stattfinden sollen, so muß dort eine außerordentlich hohe Temperatur herrschen. Über die Temperaturabhängigkeit wissen wir noch sehr wenig, aber schon die Tatsache, daß Temperaturen von einer Billion Grad nötig sind, damit der Prozeß überhaupt vor sich gehen kann, führt zu verschiedenen Schwierigkeiten. Ein Kubikkilometer Strahlung von einer Billion Grad wiegt bereits mehr als die Erde, es könnte also nur in einem verschwindend kleinen Gebiet des Sternes die Energieerzeugung stattfinden, da die Masse der Strahlung natürlich klein sein muß gegenüber der Masse des ganzen Sternes. Nun ist aber bei diesen Temperaturen der Strahlungsdruck, der ja mit der vierten Potenz der Temperatur wächst, so groß, daß die Gravitation ihm nicht das Gleichgewicht halten kann und der Stern gesprengt würde. Dadurch wird eine Materievernichtung bei 10^{12} Grad als Energiequelle unwahrscheinlich. Ein radikaler Ausweg wäre die Annahme, daß bei diesen hohen Temperaturen und Dichten die normalen Strahlungsgesetze nicht gültig bleiben und daß die Materievernichtung schon bei erheblich niedrigeren Temperaturen einsetzt.

In diesem Zusammenhang verdient noch das MILNEsche Sternmodell Erwähnung, bei dem ein Kern hoher Dichte und Temperatur von einer weitausgedehnten Hülle umgeben ist. Die MILNEsche Theorie war ursprünglich zu dem Zwecke entwickelt worden, die Umwandlung von Materie in Energie im Stern verständlicher zu machen. In dem verdichteten Kern sollten Temperaturen der Größenordnung 10^{12} Grad vorkommen können. Inzwischen hat sich aber gezeigt, daß auch die Annahme eines Kernes keine hinreichend starke Temperaturerhöhung ergibt, statt der 10^{7} bis 10^{8} Grad beim klassischen EDDINGTONschen Modell ergeben sich höchstens $10^{9}-10^{10}$ Grad, also immer noch zwei Zehnerpotenzen zu wenig, wenn man nicht die Ungültigkeit der Strahlungsgesetze in diesem Gebiet annehmen will.

Wir haben nun verschiedene Möglichkeiten für die Energieerzeugung betrachtet und sind bei jeder auf Schwierigkeiten gestoßen: Die Kontraktionsenergie kann die Ausstrahlung nicht hinreichend lange decken, bei der Umwandlungshypothese droht die starke Temperaturabhängigkeit, den Stern instabil zu machen, und die direkte Materievernichtung geht erst bei Temperaturen vor sich, die im Sterninneren unmöglich erreicht werden können. In jedem Fall kommen wir also zu einem Widerspruch zwischen extrapolierter physikalischer Theorie und astronomischer Erfahrung.

Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Deutung der Verschiedenartigkeit der Energieerzeugung pro Masseneinheit in den verschiedenen Sternen. Da die mittlere Energieerzeugung um so kleiner wird, je kleiner die Masse, könnte man unter der Voraussetzung, daß die Entwicklung unter erheblicher Massenabnahme erfolgt, an Erschöpfungseffekte denken. Doch kommt man dann in Schwierigkeiten, wenn man die Energieerzeugung in gleichaltrigen Sternen betrachtet, wie es offenbar die Komponenten von Doppelsternsystemen sind. Hier sollte die massigere Komponente, die stets mehr ausgestrahlt hat, stärker erschöpft sein als der kleinere Bruder, in Wirklichkeit zeigt aber in allen Fällen die größere Komponente die größere Energieerzeugung.

Da die größere Komponente immer die geringere Dichte hat, ist also bei gleichaltrigen Sternen stets die Energieerzeugung in dem weniger dichten am größten. Wäre es nun nicht möglich, daß irgendeine indirekte Beziehung zwischen der Dichte und der Energieerzeugung besteht? Da der Elementarprozeß der Energieerzeugung in beiden Richtungen vor sich gehen kann, muß ein Teil der erzeugten Energie, der nicht in den Weltraum entweichen kann, immer wieder in Materie zurückverwandelt werden. Man hat an eine Analogie mit folgendem Beispiel gedacht: In einem allseitig geschlossenen Kessel wird Wasser erhitzt, dann gehen Moleküle aus dem Wasser heraus und bilden Wasserdampf. Bei einer bestimmten Temperatur wird sich ein Gleichgewichtszustand herausbilden, bei dem ebensoviel Moleküle die Wasseroberfläche verlassen, wie Dampfmoleküle in sie eintreten. Mache ich nun ein Loch in den Deckel, so werden dort fortgesetzt einige Dampfmoleküle entweichen, insgesamt also mehr Moleküle das Wasser verlassen, als hineingehen, und zwar um so mehr, je größer das Loch ist.

Man hätte nun das Wasser durch die Materie im Sterninneren, den Wasserdampf durch die Strahlung und das Loch durch die Durchlässigkeit der äußeren Schichten zu ersetzen, um das Bild auf den Stern zu übertragen. Nun dürfte aber der Vergleich nicht ganz zutreffen, da bei dem Stern alles elastisch ist: vergrößere ich die Absorption der äußeren Schichten, mache also gewissermaßen das Loch kleiner, aus dem die Energie entweichen kann, so wird andererseits die Temperatur und der Strahlungsdruck größer und die äußeren Schichten werden auseinandergetrieben, bis die Absorption wieder hinreichend klein geworden ist. Wollen wir das Bild mit dem Wasserkessel beibehalten, so dürfen wir ihm keinen festen Deckel geben, sondern müssen eine elastische Gummihaut darüberspannen; wird nun das Loch in der Gummihaut verkleinert, so dehnt sie sich aus, bis das Loch wieder hinreichend groß und ein stationärer Zustand erreicht ist.

Daß die Sterne in einem stationären Zustand sind, dürfte denn auch der eigentliche Grund für die Verschiedenartigkeit der Energieerzeugung in den verschiedenen Sternen sein. Wir dürfen annehmen, daß der Betrag der Energieerzeugung pro Masseneinheit eine ganz bestimmte Funktion von

Temperatur und Dichte ist, die allenfalls noch von der chemischen Zusammensetzung, also der relativen Häufigkeit der verschiedenen Elemente abhängen kann. Dann ist aber durch die Bedingung, daß der Stern im Gleichgewicht sein soll, bei vorgegebener Masse des Sternes die Leuchtkraft und damit der Betrag der pro Zeit- und Masseneinheit im Stern erzeugten Energie eindeutig bestimmt; er kann sich nur noch mit der chemischen Zusammensetzung ändern.

Die Verschiedenartigkeit der mittleren Energieerzeugung pro Masseneinheit in den verschiedenen Sternen ist also leicht zu verstehen, das ganze Dilemma liegt darin, daß wir keinen physikalischen Vorgang kennen, der gleichzeitig allen astronomischen Forderungen hinsichtlich Ergiebigkeit und Temperaturabhängigkeit Genüge leistet.

Der erste Teil unserer Fragestellung: woher kommt die ausgestrahlte Energie? hat nicht gerade zu einem sehr befriedigenden Ergebnis geführt, doch wird sich zeigen, daß wenigstens die zweite Frage: wo bleibt die Energie? etwas mehr Licht in das Dunkel wirft.

Was geschieht also mit der Strahlung, die sich in den Tiefen des Raumes unrettbar zu verlieren scheint? Darauf gibt uns die merkwürdige Erscheinung Antwort, daß die Spektrallinien der von uns am weitesten entfernten Lichtquellen, der Spiralnebel, stets nach Rot verschoben sind und zwar um so stärker, je größer die Entfernung. Diese Rotverschiebung wächst in dem gegenwärtig der Beobachtung zugänglichen Raum linear mit der Entfernung, die größten Beträge, die bisher beobachtet sind, belaufen sich auf etwa 5% der Wellenlänge.

Zwei Möglichkeiten zur Deutung dieser Rotverschiebung bieten sich dar, einmal kann das Lichtquant auf dem Wege von Millionen Lichtjahren, den es vom Spiralnebel bis zum Beobachter zurückzulegen hat, ein wenig an Energie verlieren — oder aber die Verschiebung kommt schon an der Lichtquelle zustande. Wenn wir nicht annehmen wollen, daß dort die Atome andere Eigenschaften haben — oder daß sie es zu der Zeit, da die uns jetzt erreichende Strahlung emittiert wurde, gehabt hätten —, bleibt nur die Deutung, daß es sich um einen Dopplereffekt handelt, die Spiralnebel müßten sich mit riesiger Geschwindigkeit von uns fortbewegen; daß die Geschwindigkeit linear mit der Entfernung wächst, würde heißen, daß sich die ganze Welt gleichförmig ausdehnt.

Welche von den möglichen Deutungen wir vorziehen, ist im Augenblick empirisch nicht festzustellen; wenn der Effekt auf Ausdehnung zurückzuführen ist, würde der Abstand zweier Objekte sich gerade in 10^9 Jahren verdoppeln; man kann leicht abschätzen, wie lange man zu warten hat, um zwischen den Alternativen, ob die Rotverschiebung unterwegs oder an der Lichtquelle entsteht, zu entscheiden.

Wir wollen nun die beiden Möglichkeiten im Zusammenhang mit unserem Energieproblem etwas genauer betrachten. Verliert das Licht unterwegs an Energie, wobei man etwa an eine Wechselwirkung infolge von Gravitationskräften mit der in der Nähe des Weges angetroffenen Materie zu denken hätte, so müßte die dem Licht verlorengegangene Energie in irgendeiner Weise von der Materie aufgenommen werden; da nun die Materie im Weltraum hauptsächlich in der Form von Sternen vorkommt, hätten die Sterne damit so etwas wie eine neue Energiequelle: alle von einem Stern ausgesandte Energie würde von der Gesamtheit der anderen Sterne wieder aufgenommen, so daß ein Gleichgewichtszustand erreicht wird. Sonderlich befriedigend ist diese Vorstellung allerdings nicht.

Die andere Möglichkeit, die Rotverschiebung als wirkliche gleichförmige Ausdehnung der Welt zu deuten, beansprucht daher größeres Interesse. Hier geht die von den Sternen ausgestrahlte Energie zweifellos verloren, aber da nach ungefähr einer Milliarde Jahren sich alle Entfernungen im Weltall verdoppelt haben, wird einmal die Zeitskala der Sternentwicklung, die wir vorhin bei völliger Massenvernichtung auf 100 Billionen Jahre veranschlagt hatten, wesentlich, auf einige 10 Milliarden Jahre vielleicht verkürzt, die Welt ist eben ein viel vergänglicheres Gebilde, als man früher annahm. Damit würde sich die Materievernichtung erübrigen. Kontraktion nebst ein wenig Umwandlung von Elementen dürfte reichen. Dazu kommt noch, daß in dieser sich ausdehnenden Welt der Energiebegriff, wie wir ihn gewohnt sind, überhaupt ins Wanken kommt. Dies erkennen wir gleich, wenn wir fragen, was eigentlich die Ausdehnung der Welt bewirkt.

Der Gedanke der Relativität der Länge, der daraus folgt, daß unsere Maßstäbe selbst ein Teil der Welt sind, so daß Längenmessungen nicht im absoluten Maße, sondern nur relativ zum jeweiligen Krümmungsradius der Welt ausgedrückt werden können, bedingt die Endlichkeit des Raumes und eine bestimmte Form des Gravitationsgesetzes. Dies unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Gravitationsgesetz dadurch, daß zu der NEWTONschen Anziehung eine Abstoßung addiert wird, die proportional dem Abstand vom Ursprung wirkt. Andererseits ist in einer Kugel von gleichförmiger Dichte die Anziehung ebenfalls proportional dem Abstand vom Mittelpunkt, so daß bei einer bestimmten Dichte gerade Gleichgewicht zwischen Anziehung und Abstoßung herrschen wird. Eine solche gleichförmige Verteilung von Materie, die die Welt gerade ausfüllt, und bei der die NEWTONsche Anziehung die kosmische Repulsion gerade aufhebt, ist bekannt als „EINSTEINsche Welt".

Diese EINSTEINsche Welt ist nun aber nicht stabil. Eine kleine Störung muß bewirken, daß entweder die Gravitation oder die Repulsion die Oberhand gewinnt; wie uns die Rotverschiebung zeigt, ist im Augenblick die Repulsion der gewinnende Teil. Diese theoretische Instabilität der EINSTEINschen Welt ist ein starkes Argument dafür, daß die Spiralnebel sich tatsächlich von-

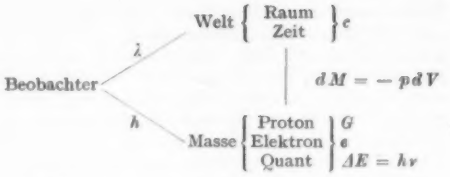
einander entfernen, daß also die Deutung der Rotverschiebung als Dopplereffekt richtig ist.

Die bei der Ausdehnung der Welt geleistete Arbeit muß dem in der Welt enthaltenen Energie- bzw. Materievorrat entnommen werden. Bezeichnen wir die gesamte, in der Welt enthaltene Masse mit M, so läßt das Energieprinzip in der ruhenden Welt sich ausdrücken als $dM = 0$. In der sich ausdehnenden Welt nimmt es die Form an $dM = -p\,dV$, wo p der von der Materie und Energie herrührende Druck ist und V das Volumen der Welt. In dieser Form ist der Raum mit in das Energieprinzip einbezogen, die Ausdehnung der Welt bedeutet nur Übergang von Energie in eine andere Form, nämlich in Raum.

An welcher Stelle der Raum die Masse aufzehrt, können wir noch nicht sagen, vielleicht hat nur die Strahlungsenergie die Kosten der Ausdehnung zu tragen, vielleicht muß auch die Ruhmasse daran glauben. Wahrscheinlich ist aber die Massenänderung nicht groß, da p vermutlich klein ist. Ob die Ausdehnung in der gleichen Weise wie bisher andauern wird oder ob sie beschleunigt oder verlangsamt erfolgt, können wir auch nicht mit Sicherheit sagen, es ist auch möglich, daß die Welt pulsiert, daß also im rhythmischen Wechsel Masse in Raum und Raum in Masse übergeht. Es gibt hier überhaupt noch viele ungeklärte Fragen, z. B. ob die Sterne und die Sternsysteme sich an der Ausdehnung beteiligen. Wahrscheinlich werden die Gravitationskräfte sie aber zusammenhalten, am Rande der großen Nebel erst, wo die Spiralarmbildung einsetzt, scheint die Repulsion sich bemerkbar zu machen.

Wir stehen hier erst am Anfang einer neuen Richtung der physikalischen Forschung. Spielte sich früher das physikalische Geschehen gewissermaßen auf einer Bühne ab, bei der Raum und Zeit nur den Hintergrund oder die Kulisse bildeten, während der physikalische Beobachter lediglich zwar interessierter, aber an der Handlung unbeteiligter Zuschauer war, so sind wir jetzt sicher, daß Raum und Zeit als handelnde Personen mit in das Stück eingreifen, und daß auch der zuschauende Beobachter infolge seines Einflusses auf die in dem Stück auftretenden Elementarteilchen diesen einen Teil ihrer Handlungsfreiheit nimmt.

Folgendes Schema macht vielleicht die Verhältnisse noch etwas übersichtlicher:



Am längsten bekannt sind die Wechselwirkungen zwischen den materiellen Teilchen, die Gravitation zwischen ungeladenen Teilchen, repräsentiert durch die Gravitationskonstante G und die COULOMBschen Kräfte zwischen geladenen Teilchen, repräsentiert durch die Ladung des Elektrons e. An die Beziehung zwischen Raum und Zeit, die in der speziellen Relativitätstheorie von Bedeutung war, erinnert uns die Lichtgeschwindigkeit c, die das Verhältnis der Einheiten gibt. Als Symbol des Verhältnisses von Beobachter und Welt nehmen wir die kosmologische Konstante λ, die den Krümmungsradius der Welt festlegt, der die natürliche Längeneinheit bildet. Die Wechselwirkung zwischen Lichtquanten und Materie, bei der die Physik sich in der Hauptsache um die Absorptions- und Emissionsvorgänge bemüht hat, werde dargestellt durch die BOHRsche Frequenzbedingung $\Delta E = h\nu$. Die tiefere Einsicht in das Wesen der Größe h brachte aber erst die neue Quantenmechanik in der HEISENBERGschen Ungenauigkeitsrelation, die in die Kategorie der Beziehungen zwischen Beobachter und Materie gehört.

In die letzte Kategorie von Beziehungen — zwischen Welt und Masse — gehört unser allgemeiner Energiesatz $dM = -p\,dV$, und hierher gehören die noch nicht abgeschlossenen Versuche zur relativistischen Formulierung der Quantenmechanik. Auf dieser Linie liegt auch unser Energieproblem, das uns vom Inneren des Atoms bis in die Tiefen des Raumes geführt hat; und es wird daher verständlich, warum wir eine vollständige Lösung dieses Problems noch nicht geben können. Es ist natürlich schwierig, eine Prognose für die Weiterentwicklung dieser Fragestellung zu geben, doch kann man wohl wenigstens so viel sagen, daß das Energieproblem der Astrophysik erst gleichzeitig mit der Aufklärung der Beziehungen zwischen der Struktur der Welt als Ganzem und ihren einzelnen Bausteinen seine Erledigung finden wird.

Kurze Originalmitteilungen.

Unter Mitwirkung von MAX HARTMANN, MAX v. LAUE, CARL NEUBERG, ARTHUR ROSENHEIM und MAX VOLMER.
Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.
Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *kurzen Originalmitteilungen* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer baldigen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von **höchstens einer Druckspalte** zu beschränken.

Zu der Zusammenstellung von den Herren C. Ramsauer und A. Kalähne über die Untersuchung des infraroten Teils des Nordlichtes.

Von der verwendeten Platte Agfa-Infrarot 810 und dem SCHMIESCHEKschen Sensibilisierungsverfahren habe ich schon im Sommer 1931 durch Dr. BRÜCKE und Dr. LACMANN Kenntnis genommen, und schon im September 1931 habe ich Herrn HARANG am Nordlichtobservatorium ausführlich darüber unterrichtet.

Die Infrarotplatten und ihre Hypersensibilisierung wurden im hiesigen Institut im Herbst 1931 mit gutem Erfolg ausprobiert. Bei den Untersuchungen über das infrarote Nordlichtspektrum, die ich unter Mitwirkung von den Herren des Nord-

lichtobservatoriums vorgenommen habe, und der Filteraufnahme von Herrn Bauer handelt es sich um zwei parallellaufende Untersuchungen verschiedener Art und Hilfsmittel, und die Bauersche Aufnahme und seine Erfahrungen in bezug auf Sensibilisierung sind für die Durchführung unserer schon längst geplanten Spektralaufnahmen des infraroten Nordlichtspektrums in keiner Weise maßgebend oder von wesentlicher Bedeutung gewesen.

Weitere Einzelheiten werden später in Verbindung mit einer ausführlicheren Veröffentlichung unserer Spektralergebnisse gegeben.

Oslo, Physikalisches Institut. L. Vegard.

Zur Frage des ultraroten Nordlichtspektrums.

Die Nordlichtuntersuchungen Herrn Bauers, Danzig, die im vergangenen Winter in engster Zusammenarbeit mit den Herren des Nordlichtobservatoriums Tromsö durchgeführt wurden und über deren Ergebnisse Störmer[1] kürzlich berichtete, führten unter anderem zur Entdeckung einer starken ultraroten Strahlung im Nordlicht[2]. Da die Bauerschen Untersuchungen auf unsere Veranlassung von der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft trotz der augenblicklichen Knappheit aller Mittel ermöglicht worden sind, halten wir uns für verpflichtet, zu Herrn Vegards Veröffentlichungen[3] und Einstellung[4] in dieser Angelegenheit Stellung zu nehmen. Der Entdeckung liegt folgender Sachverhalt zugrunde, den wir in Übereinstimmung mit Herrn Vegard festgestellt haben:

1. Herr Vegard hat die Untersuchung des ultraroten Teiles des Nordlichtspektrums seit langem *geplant* und seit Sommer 1931 auch intensiver vorbereitet. Zu einer Verwendung ultrarotempfindlicher Platten war es jedoch in der Nordlichtspektroskopie *bisher noch nicht* gekommen.

2. Herr Bauer hat im Rahmen einer Prüfung photographischer Emulsionen und Sensibilisierungsverfahren Anfang Januar (9. I. 1932) die Nordlichtphotographie mit der Agfa-Infrarot Platte 810 i versucht, nachdem sie von ihm nach dem Schmieschenschen Verfahren hypersensibilisiert worden war, das er abgeändert und in mehrmonatiger Vorarbeit erprobt hatte. Nach Abfilterung des sichtbaren und ultravioletten Lichtes erhielt er ein kräftiges Ultrarotbild des Nordlichtbogens. Bauer konnte die Lage der ultraroten Nordlichtstrahlung zwischen 7500 und 8400 AE eingrenzen. Seine Untersuchung wurde im Nordlichtobservatorium Tromsö durchgeführt, ohne daß er von Herrn Vegards Vorbereitungen in Oslo Kenntnis hatte.

3. Herr Direktor Harang vom Tromsöer Nordlichtobservatorium hat *auf diesen Fortschritt hin* Anfang Februar (4. II. 1932) das Nordlicht mit der genannten Platte spektrographiert, *nachdem* ihm inzwischen Bauer Anleitung im Sensibilisieren gegeben hatte und *nachdem* ihn Herr Vegard auf die Nachricht von dem Bauerschen Erfolg hin telegraphisch zur beschleunigten Durchführung der Spektraluntersuchung angehalten hatte. Durch die Spektralaufnahmen wurden zwei starke ultrarote Banden zu 7883 und 8095 AE festgelegt, die Herr Vegard dem Stickstoff zuordnete.

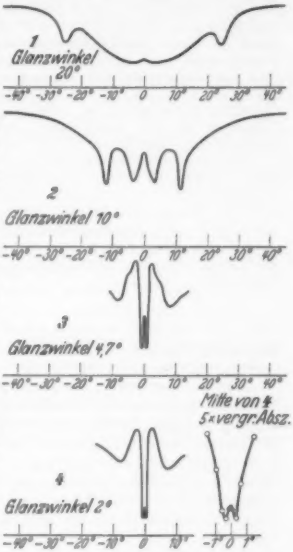
Bei diesem Sachverhalt ist nach unserer Ansicht die *Entdeckung* des ultraroten Spektralteils Herrn Bauer, die *genaue Feststellung* der Bandenlage Herrn Vegard bzw. Herrn Harang zuzusprechen.

Berlin und Danzig, im Juli 1932.

C. Ramsauer. A. Kalähne.

Die spiegelnde Reflexion von Molekularstrahlen.

Wir haben die spiegelnde Reflexion von Molekularstrahlen aus He (vereinzelt auch H_2) an Kristallspaltflächen von LiF (auch NaF) mit folgender Anordnung untersucht. Einfallender Strahl und Auffänger blieben fest in der Reflexionsstellung, die reflektierende Kristallfläche wurde in ihrer Ebene gedreht. Wir fanden dabei, daß das Reflexionsvermögen sehr stark von der Orientierung des Kristalls abhängt, wie aus den folgenden Kurven ersichtlich ist, die als Beispiele aus einer großen Zahl von gemessenen Kurven ausgewählt sind. Ordinate ist die Intensität des reflektierten Strahls, Abscisse der Verdrehungswinkel des Kristalls, wobei als Nullstellung diejenige gilt, in der die Einfallsebene die Kristallfläche in einer Flächendiagonale (Hauptachse des Oberflächengitters gleichnamiger Ionen) schneidet. Die Kurven zeigen auffallende Unregelmäßigkeiten (Dellen), die, wie man sieht, um so ausgeprägter und schärfer werden, je flacher der Einfall ist. Zum Beispiel bedingt bei einem Glanzwinkel von 2° eine Drehung des Kristalls in seiner Ebene um 1° eine Änderung des Reflexionsvermögens um einen Faktor 6. Auch bei den Beugungskurven haben wir ähnliche, wenn auch nicht so ausgeprägte Unregelmäßigkeiten gefunden, die mit den obigen offenbar in Zusammenhang stehen. Bei NaF haben wir praktisch dieselben Kurven, bei H_2 (an LiF) etwas kompliziertere, aber von ähnlichem Typus.



Die Deutung dieser merkwürdigen Erscheinung ist uns bisher nicht gelungen; alle naheliegenden Erklärungsversuche (wie z.B. aus der Form der reflektierenden Oberfläche) ließen sich nicht durchführen. Momentan halten wir für wahrscheinlich, daß ein Zusammenhang mit der Adsorption besteht und daß das verschiedene Adsorptionsvermögen der beiden Ionengattungen des Gitters eine Rolle spielt.

Diese Versuche, die schon seit längerer Zeit im Gange sind (die Hauptresultate sind schon etwa 1 Jahr alt), sollen noch mit monochromasierten Strahlen wiederholt werden. Da dies noch einige Zeit dauern wird, um so mehr als wir augenblicklich mit anderen Versuchen beschäftigt sind, wollten wir durch diese kurze Mitteilung auf die uns sehr bemerkenswert erscheinenden Tatsachen hinweisen.

Hamburg, den 7. August 1932. R. Frisch. O. Stern.

Der Wuchsstoff bösartiger Geschwülste.

Es gelang mir aus *bösartigen Geschwülsten*, Carcinom und Sarkom der Maus und Hühnersarkom, *eine Substanz zu isolieren*, die wie jüngst aufgefundene Pflanzenwuchsstoffe[1], in Agar gelöst, einseitig auf dekapitierte Avena-Coleoptilen aufgebracht, *Zellstreckungswachstum* hervorruft. Ich konnte diesen *Geschwulstwuchsstoff* auf Grund seiner Löslichkeitseigenschaften und durch Fällungsreaktionen *weitgehend anreichern*, wobei zur Kontrolle der Reinigungsmaßnahmen die von F. W. Went[2] für Pflanzenwuchsstoffe angegebene quantitative Bestimmungsmethode benutzt wurde. Der Geschwulstwuchsstoff ist löslich in Wasser, Methyl- und Äthylalkohol, Aceton und Äther, unlöslich in Petroläther, Benzin und Benzol. Er ist hitzebeständig, eine schwache *Säure* und enthält *aliphatische Doppelbindungen*, die für die physiologische Wirkung von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Wuchsstoffgehalt und Wachstumsgeschwindigkeit der Tumoren scheinen parallel zu gehen. Zum Beispiel wurde in 14 Tage alten Mäusecarcinomen (Ehrlich), die nur geringe zentrale Nekrose aufwiesen, mehr als doppelt so viel Wuchsstoff gefunden, als in der gleichen Menge 25 Tage alter Carcinome, die sehr stark nekrotisch waren. Danach findet sich mehr Wuchsstoff im soliden, kräftig wachsenden Gewebe als im nekrotischen.

[1] C. Störmer, Physik. Z. **33**, 543 (1932).
[2] W. Bauer, Naturwiss. **20**, 287 (1932).
[3] L. Vegard, Nature **129**, 468 (1932) — Naturwiss. **20**, 268 (1932).
[4] Vgl. folgende Notiz.

[1] Literatur bei N. Nielsen, Jb. Bot. **73**, 125 (1930).
[2] Rec. Trav. bot. néerl. **25** (1928).

Welche Funktion dem Wuchsstoff beim Geschwulstwachstum zukommt, ist noch unklar: Bedingt er eine Erhöhung des Zellturgors, wodurch das verdrängende und infiltrative Wachstum erklärt werden könnte, verändert er die Zellpermeabilität oder bewirkt er Zellvermehrung, indem er direkt oder indirekt die Zellteilung anregt? Da der Wuchsstoff der Coleoptilspitze bei Hefe starke Zellvermehrung hervorruft[1], scheint der Schluß nicht allzu gewagt, daß auch der Geschwulstwuchsstoff nicht nur Zellstreckungswachstum, sondern auch Zellvermehrung bewirkt. Dauernde Zellteilung unter dem Einfluß des Wuchsstoffes, der entweder von außen her geliefert oder, was wahrscheinlicher ist, von Krebszellen produziert wird, genügt, um das ungeordnete Geschwulstwachstum zu erklären. Denn „proliferative Aktivität ist ein Antagonismus zur Differenzierung und Organisierung der Zellen"[2].

Der Wuchsstoff kommt nicht nur in Tumoren vor, denn ich fand ihn auch in reichlicher Menge in den *Lebern*[3] tumorkranker wie gesunder Mäuse und Hühner und in *Hühnerembryonen*. Vielleicht ist die Leber Produktionsstätte, vielleicht auch nur Speicherungsorgan für den auch im gesunden Organismus gebrauchten Wuchsstoff. Seine Herkunft von Carotinoiden scheint mir nicht unmöglich. Durch das Vorkommen des unspezifischen Wuchsstoffes in Hühnerembryonen, im Hühnersarkom, *Pellotermin*[1] und — was noch zu beweisen ist — in Leukocyten versteht man nun, warum gerade in Auszügen aus dem genannten Material embryonales Gewebe so stark proliferiert, daß es auch nicht zur Differenzierung und Organisierung kommt.

Der von mir aufgefundene unspezifische Wuchsstoff ist nahe verwandt mit dem *Rhizopin* von N. Nielsen[2] und dem *Auxin* von F. Kögl[3]; vielleicht sind die Stoffe sogar miteinander identisch.

Frankfurt a. M., Chemische Abteilung des Georg Speyer-Hauses, den 17. August 1932. Ernst Maschmann.

[1] H. v. Euler u. T. Philipson, Biochem. Z. **245**, 418 (1932).
[2] A. Fischer, Gewebezüchtung, S. 309. München 1930.
[3] Der im Harn Gesunder von Kögl aufgefundene Wuchsstoff stammt meines Erachtens aus der Leber und nicht von Bakterien.

[1] A. Fischer, a. a. O. S. 51; der Wuchsstoff, den ich darin nachwies, entstammt den Colibakterien; vgl. P. Boysen-Jensen, Biochem. Z. **236**, 205 (1931).
[2] A. a. O. Rhizopin läßt sich aus Äther mit Bicarbonatlösung ausschütteln.
[3] Proc. (Amsterdam) **34**, 1411 (1931).

Besprechungen.

Discovery Reports Vol. III. Cambridge at the University Press 1930. 266 S. und 38 Tafeln. 24 × 32 cm.

Der vorliegende dritte Band des großen Discovery-Werkes, welches die Ergebnisse der laufenden Forschungen über die wissenschaftlichen Grundlagen des Walfangs in den südlichen Breiten darlegt, besteht aus 2 Heften geographischen und 3 zoologischen Inhalts. Das erste gibt Ziele und Inhalt der ozeanischen Stationen aus den Jahren 1927—1929, setzt also die Angaben von Heft 1 des 1. Bandes (1929 erschienen) über die Stationen der Jahre 1925—1927 fort. Das jetzige Heft berichtet über die Stationen 137—433 des „William Scoresby" um Falkland, Süd-Georgien und die Süd-Shetlands, sowie auf den Routen dazwischen, dann über 1—58 der „Anglo-Norse" bei den Süd-Sandwichs und 1—29 des „C. A. Larsen" im Roßmeer. Für jede Station werden die meterologischen und ozeanischen Daten, darunter die von zahlreichen Tiefseereihen, mitgeteilt und die vorgenommenen biologischen Arbeiten genannt. Die 10 Tafeln bezeichnen die Positionen der Stationen. Das Material ist reich und für jede weitere Verwertung bereit. Das zweite Heft bietet eine Monographie der bisher so unbekannten Süd-Sandwichs, die Geschichte ihrer Erforschung, die dortige Route der Discovery II im Februar 1930, eine Beschreibung jeder einzelnen Insel mit vortrefflichen Bildern ihrer Formen und Vereisungen, sowie die Petrographie von Thule Eiland, der südlichsten, auf der allein eine Landung gelang, während vier andere Landungsversuche mißglückten. Die Ergebnisse sind von großer Bedeutung. Die Positionen und Umrisse der Inseln sind berichtigt, ihre Lage auf dem Süd-Antillenbogen von Ed. Suess, die schon O. Pratje von der Meteor-Expedition annahm, geologisch durch den Nachweis von Andengesteinen auf Thule festgestellt, die Meteor-Tiefe von 8264 m unter 55° s. Br. und 26½° w. L., durch Echolotungen als Teil eines Grabens an der Ostseite der Inseln mit Tiefen von gleichem Ausmaß erkundet, junger Vulkanismus verschiedener Aktivität nachgewiesen, auch ein großer submariner Krater zwischen Thule und Cook-Eiland u. v. a. Wir erhalten von den Süd-Sandwichs, ihren Beziehungen, ihren Formen und ihrem Bau ein erstes, hochinteressantes Bild. Die drei letzten Hefte des Bandes sind zoologischen Inhalts. Sie behandeln „Nebaliacea" durch H. Graham-Cannon, „Cephalodiscos" durch C. C. John und „Spiders collected by the Discovery-Expedition with a description of a new species from South Georgia" durch W. S. Bristowe. E. v. Drygalski, München.

LAHMEYER, F., und C. DORNO, **Assuan.** Eine meteorologisch-physikalisch-physiologische Studie. Braunschweig: Fr. Vieweg & Sohn 1932. VIII, 68 S. Preis RM 6.—.

Das Winterklima Ägyptens ist in seinem therapeutischen Wert schon frühzeitig erkannt worden. Die Arbeiten von Leigh-Canneys und Fr. Engel aus dem Ausgang des vorigen Jahrhunderts zeugen davon, daß gerade von ärztlicher Seite aus vor Gründung einer besonderen meteorologischen Organisation der Versuch gemacht wurde, die Heilwirkung des Klimas wissenschaftlich zu erkunden. Als sich dabei zeigte, daß als Hauptheilfaktor die Trockenheit der Luft anzusprechen war, fand das an der Grenze der Libyschen und der Arabischen Wüste in dem dort sehr eingeengten Kulturgebiet des Niltales liegende Assuan als Winterkurort immer mehr Beachtung. Die Grundwerte seines Klimas sind uns bereits aus den von dem Physical-Department im Ministerium der Öffentlichen Arbeiten zu Kairo 1922 herausgegebenen und von H. E. Hurst bearbeiteten „Climatological normals for Egypt and the Sudan" bekannt. Allerdings liegt die amtliche Beobachtungsstelle etwa 5—6 km südlich vom Kurort unmittelbar am Damm des Nilstaubeckens, wo der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sicher örtlich beeinflußt ist. Die jetzt vorliegende Klimastudie stützt sich dagegen auf die von Dr. Lahmeyer in oder dicht beim Kurort am Katarakthotel gewonnene Beobachtungsreihe, die in ihrem Beobachtungsprogramm weit über das an klimatologischen Stationen übliche hinausgeht und besonders den Bedürfnissen der Heilklimakunde entsprechen will.

Die Methode der Gewinnung und der Bearbeitung klimatischer Faktoren, die in der medizinischen oder physiologischen Meteorologie eine Rolle spielen, kann noch lange nicht als abgeschlossen gelten. Klimastudien, wie die vorliegende, geben aber einen vortrefflichen Überblick über das Erreichte und können anderen als Muster dienen, zumal wenn, wie es hier der Fall ist, sie neben der Diskussion der Beobachtungsergebnisse kritische Bemerkungen zur Methodik bringen. Allerdings bietet die Arbeit nur in gewisser Beziehung eine Ergänzung zum schon bekannten Klima von Assuan. Sie erfaßt lediglich die Wintermonate Dezember bis März und behandelt im täglichen Gang

der Elemente vorwiegend die eigentlichen Tagesstunden, während die Nachtstunden unberücksichtigt bleiben. In den Tabellen wird zwar regelmäßig das 24 Stunden-Mittel gegeben und mit dem Mittel für den sog. „Krankentag", 8—18 Uhr, und dem Nachtmittel, 18 bis 8 Uhr, verglichen, der Gang des nächtlichen Teiles der Kurven der einzelnen Elemente wird aber nicht durch Zahlenwerte belegt.

Im ersten Hauptteil der Untersuchung werden nacheinander die einzelnen Elemente behandelt, wie: Luftdruck, Lufttemperatur, relative und absolute Feuchtigkeit, Äquivalenttemperatur, Sättigungsdefizit, Wind, Verdunstung, trockene und feuchte Abkühlungsgröße, Strahlung, Staub und Luftelektrizität. Überall ergeben sich die für das Wüstenklima charakteristischen geringen aperiodischen Schwankungen von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr bei großen periodischen, in einfacher Welle ablaufenden Schwankungen im Tageslauf und, soweit dies mit den Teilreihen nachweisbar ist, auch im Jahresverlauf.

Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße werden, ihrer Bedeutung als Fundamentalgrößen in der Bioklimatologie entsprechend, besonders eingehend gewürdigt. Sie bilden auch die Grundlage für den physiologischen Teil der Arbeit. In ihm wird gezeigt, wie man aus ihnen die auf den menschlichen Organismus einwirkenden wärme- und wasserentziehenden Kräfte in Kalorien bzw. Gewichtsmaß ermitteln kann. Dabei wird die Wasser- und Wärmeabgabe getrennt für den Atmungsvorgang und durch die Oberhaut zu ermitteln gesucht. Hier werden aber schon Überlegungen angestellt, denen im allgemeinen nur der Physiologe zu folgen vermag. Der Vergleich der für Assuan gefundenen Tatsachen mit denen anderer Klimate führt dazu, eine ganz rohe Klimaklassifikation auf totaler Wärmeabgabe und Wasserabgabe aufzubauen. Sie führt zur Unterscheidung der folgenden 6 Klassen:

Klasse	Totale Wärmeabgabe g cal/min	Gefühlsmäßig
1	< 600	sehr warm
2	600— 900	warm
3	900—1100	mäßig warm
4	1100—1300	mäßig kalt
5	1300—1500	sehr kalt
6	> 1500	sehr kalt

Klasse	Totale Wasserabgabe g/min	Gefühlsmäßig
I	< 0,6	sehr feucht
II	0,6—0,7	feucht
III	0,7—0,8	mäßig feucht
IV	0,8—1,0	mäßig trocken
V	1,0—1,2	trocken
VI	> 1,2	sehr trocken

Man wird den beiden Verfassern nur zustimmen können, wenn sie am Schlusse rückblickend die These aufstellten, daß gründliche klimaphysiologische Studien der vorliegenden Art die Zusammenarbeit eines Physiologen und eines physikalisch geschulten Meteorologen verlangen, wobei die Aufgabe des letzteren erst erfüllt ist, wenn er dem Physiologen sagen kann, wieviel Wärme- und Wasserverlust der Hauptorgane, Haut und Lunge, im ganzen und möglichst auch partiell, unter den jeweiligen klimatischen Verhältnissen zu erwarten ist. K. Knoch, Berlin.

HELBIG, KARL, **Batavia, eine tropische Stadtlandschaftskunde im Rahmen der Insel Java.** Hamburg: Friederichsen, de Gruyter u. Co., G. m. b. H. 192 S. und 16 Abbild. 14 × 22 cm. RM 4.50.

Der Begriff „Stadtlandschaftskunde" ist noch neu. Erst wenige Städte sind vom Standpunkt des Naturforschers umfassend dargestellt. Wenn die Stadt Batavia vor vielen anderen Städten den Anreiz zu eingehenden stadtlandschaftskundigen Untersuchungen gegeben hat, so liegt das in der Eigenart dieser Stadt begründet. Nur wenige Städte sind von so viel verschiedenartigen Kräften aufgebaut und haben sich in wechselvoller Geschichte so vielgestaltig entfalten können, wie diese Kolonialstadt. Dem Verf. der oben angegebenen Schrift ist es gelungen, die Eigenart der Stadtlandschaft eindrucksvoll zu schildern und ein farbenprächtiges Gesamtbild wiederzugeben, daß die Stadt in ihren Wurzeln und ausstrahlenden Kräften, mit ihrem Aufbau und gesellschaftlichen bunten Leben zeigt. Auch wer sich durch keine eigenen Beziehungen mit der Stadt verbunden fühlt, wird an den Ausführungen des Verf. Gefallen finden, weil eine Stadt als lebendes Gebilde vorgeführt wird im Daseinskampf mit feindlichen und freundlichen Kräften der Natur als Stätte aufbauender Arbeit, des Handels und Verkehrs von Menschen verschiedenster Rasse und Herkunft. Es handelt sich um keine wissenschaftliche Spezialarbeit, sondern um einen universellen Zusammenschluß von vielen Einzeluntersuchungen aus dem umfangreichen Schrifttum über die Stadt Batavia, die der Verf. kritisch zu werten gehabt hat. Eigene Wahrnehmungen an Ort und Stelle haben es ihm ermöglicht, das Typische der Stadt richtig zu erfassen und im allgemeinen gut getroffen wiederzugeben. Den Umstand, daß im einzelnen der Spezialist das Wesentliche vielleicht klarer herausgearbeitet hätte, wird man hinnehmen können, weil es auf den Gesamteindruck ankommt. Der Verf. wollte den Typus dieser Stadt ergründen und nennt ihn den einer indonesischen Tropenstadt. Eine indonesische Tropenstadt ist aber z. B. auch Solo, die gegenwärtig größte Eingeborenenstadt Javas, die einen wesentlich anderen Stadttypus als Batavia zeigt. Dort sind die Eingeborenen heimatgebunden, während sie in Batavia, wie die Europäer, Chinesen, Araber und Vorderinder, als Kolonisten zugewandert und nicht fest verwurzelt sind. Der Stadttyp ist deshalb wohl besser als der einer tropischen indonesischen Kolonialstadt zu bezeichnen.

Gerhard Jobst, Kassel.

WAGNER, A., **Klimatologie der freien Atmosphäre.** Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Tl. F. Berlin: Gebr. Borntraeger 1931. 70 S. und 8. Abbild. 17 × 26 cm. Preis RM 12.60.

Der vorliegende Teil der allgemeinen Klimatologie gibt ein Gesamtbild der mittleren meteorologischen Verhältnisse der Troposphäre und der untersuchten Teile der Stratosphäre. Bisher hat es eine solche Darstellung noch nicht gegeben, so daß man die Arbeit mit besonderem Interesse studiert. Es war für den Verfasser keine leichte Aufgabe, aus dem auf verschiedene Weisen erworbenen und veröffentlichten Material einen einheitlichen Aufsatz zu machen. Zusammenhängende Beobachtungsnetze liegen nur aus *Europa*, *Nordamerika* und *Indien* vor, im übrigen handelt es sich um Beobachtungen isolierter Stationen. Erfreulich viel Material ist durch verschiedene Forschungsfahrten über den Atlantischen Ozean gesammelt worden. Soweit es durch das Tatsachenmaterial der Drachen-, Fesselballon-, Ballonsonde,- Flugzeugaufstiege und Pilotbeobachtungen möglich war, werden die wichtigsten meteorologischen Elemente: Temperatur, Windverhältnisse, relative Feuchtigkeit und Luftdruck gesondert behandelt.

Die leicht verständlich geschriebenen und durch zahlreiche Tabellen ergänzten Darlegungen machen den Leser sowohl mit allgemeinen als auch für verschiedene Erdteile und kleinere Gebiete charakteristischen Eigen-

schaften der Lufthülle bekannt. Der Einfluß der Verteilung der Kontinente und Ozeane, Geländegestaltung und Windverhältnisse auf dem Erdball sowie andere Erscheinungen — wie z. B. der Kondensation des Wasserdampfes — macht sich hier geltend.

Das einheitlichste aerologische Material stammt aus *Nordamerika*, dessen Verhältnisse wohl deshalb zuerst besprochen werden. Hier ist ein deutlicher Einfluß der Breite, Länge und Kontinentalität auf die Temperaturverteilung festzustellen. An den nördlichsten Stationen finden wir hier, wie übrigens auch in den polaren Gegenden, in der kalten Jahreszeit eine beständige Bodeninversion. Bemerkenswert ist der große jährliche Gang der Stratosphärengrenze und deren Temperatur in Toronto, Canada auf der nördlichen Breite 43° 8′.

Sehr instruktiv sind die Isoplethen der Temperatur und die Strömungslinien der Luft in den unteren Teilen der Troposphäre. Die hohen Berge im Westen stören hier als Hindernisse auf der Luftbahn den regelmäßigen Verlauf in gleicher Weise wie an anderen Stellen. Die Luft strömt im großen ganzen aus dem Westen und Nordwesten nach dem Atlantischen Ozean, der Golfstromgegend zu.

In Europa sind die klimatischen Verhältnisse der freien Atmosphäre nach der geographischen Lage weniger klar orientiert. Die Züge der Temperaturverteilung werden aus manchen langen Beobachtungsserien und aus der Isoplethendarstellung in Mitteleuropa klar. Die Aufzeichnung der Strömungslinien der Luft bleibt aber wegen des unbearbeiteten (!) Materiales aus, obgleich bekanntlich gerade in *Europa* Pilostationen reichlich vorhanden sind.

Die Windverhältnisse der *Mittelmeerländer* werden in einem Abschnitt behandelt. Auch hier machen sich die Geländeverhältnisse geltend, so z. B. eine von den Alpen verursachte Divergenz mit durchschnittlichem Stromlinienverlauf in Höhe von 3 km.

Darauf folgen die Verhältnisse über der *inneren Tropenzone*. Die Stratosphärengrenze liegt hier bekanntlich sehr hoch, etwa 17 km, und deren Temperatur sehr tief, etwa — 85° (in Mitteleuropa etwa 11 km und −57°). Die Windverhältnisse kennt man am besten aus den Pilotbeobachtungen in Batavia (bis 24 km hoch) Sie ergeben nach der Untersuchung von W. van Bemmelen ein kompliziertes Bild zwischen den in verschiedenen Höhen wehenden Monsun- und Passatwinden.

Oberhalb des *Atlantischen Ozeans* konnten sowohl Temperatur- als auch Windverhältnisse gut beschrieben werden. Die Eigenschaften der Luft in der Passatströmung erfordern besondere Beachtung. Sie bestehen aus zwei getrennten Schichten, dem unteren „eigentlichen" Passat und dem oberen „Urpassat". Über dem Urpassat, oberhalb 10 km, wehen bis zur Grenze der Troposphäre westliche Winde, die von Kuhlbrodt als „selbständige fundale Strömung" bezeichnet werden. In der Stratosphäre finden wir wieder östliche Winde.

Über *Indien* gibt es, wie schon gesagt, gute aerologische Arbeiten, aus denen die Temperatur -und Windverhältnisse bis 20 km hoch bekannt sind. In der Stratosphäre oberhalb 17 km ist eine merkliche Temperaturzunahme vorhanden, und in den Windverhältnissen machen sich Monsun- und Geländeeinwirkungen geltend.

Es folgen dann die *polaren Gegenden* um die beiden Nordpole, wo Expeditionen wichtige aerologische Beobachtungen ausgeführt haben. Im Winter tritt die starke Bodeninversion zutage. Die polaren NE-Winde in der Arktis sind ziemlich seicht, im Sommer bis 1,5 km hoch, im Winter doch nahezu 3 km.

Die Resultate einiger isolierter Länder — Ägypten, Australien und Neuseeland, Japan, Südamerika und Taschkent — beschließen die Darstellung der Gebiete. Auffallend niedrig, 10,4 km, liegt die Stratosphärengrenze in Australien.

Als Gesamtresultat folgt schließlich die Behandlung der Temperatur-, Druck- und Windverhältnisse der freien Atmosphäre im Meridianschnitt der nördlichen Halbkugel im Sommer und Winter. Das Bild des Temperaturschnittes stützt sich auf eine Isoplethendarstellung von Ramanathan. Man ersieht daraus u. a. die Stratosphärengrenze, die tiefen Temperaturen dabei und eine teilweise noch unsichere Temperaturzunahme in der Stratosphäre. Erläuternd wirkt eine schematische Darstellung der W- und E-Komponente im Meredianschnitt.

Neben der rein wissenschaftlichen grundlegenden Bedeutung ist dieser Teil des Handbuches auch für die Praktiker im Luftverkehr von großem Wert.

J. Keränen, Helsinki.

KÖPPEN, W., **Grundriß der Klimakunde.** 2. verbesserte Auflage der Klimate der Erde. Berlin: W. de Gruyter 1931. VIII, 368 S., 28 Abbild. und 9 Taf. 14×21 cm. Preis geh. RM 11.—, geb. RM 12.—.

Die erste Auflage von Köppens Klimate der Erde war als Umarbeitung eines Bändchens der Sammlung Göschen im Jahre 1923 erschienen. Daß das Werk in einer Zeit, wo der Ankauf der Bücher, vor allem wissenschaftlichen Inhalts, durch Private so stark zurückgegangen ist, jetzt eine neue Auflage erlebt, ist der beste Beweis dafür, wie günstig es von dem engeren Kreis der Fachgelehrten und auch von einem weiteren Kreis der Naturwissenschaftler überhaupt aufgenommen wurde. Die Stärke des Buches liegt in der gedrängten Darstellung, die vor allem in dem Teil, der die spezielle Klimakunde bringt, das Wesentliche der Klimaeigentümlichkeiten in prägnanter Form wiedergibt. So wird das Buch gerade für den Studierenden ein ganz vorzügliches Hilfsmittel, um sich zusammenhängend die Haupttatsachen des weiten Gebietes der Klimakunde anzueignen.

Daß W. Köppen, der vor kurzem seinen fünfundachtzigsten Geburtstag feiern konnte, überall in der neuen Auflage die bessernde Hand angelegt hat, um die neueren Ergebnisse der klimatischen Forschung zu berücksichtigen, ist selbstverständlich. Daneben sind einige Abschnitte ganz neu aufgenommen worden. Es ist dies zunächst ein Abschnitt über langdauernde Änderungen in der von der Erde empfangenen Sonnenstrahlung. Er basiert auf den von Milankovitch für die verflossenen 600000 Jahre errechneten Änderungen der sommerlichen Bestrahlung des 65° nördl. Br., die sich in auffallend guter Übereinstimmung mit den nach geologischen Befunden festgestellten Glazial- und Interglazialzeiten befinden. Das zweite neue Kapitel gibt einige charakteristische Beispiele aus dem Gebiete der Mikroklimatologie und schließlich beschäftigt sich das dritte neue Kapitel, das jetzt den Schluß des Buches bildet, mit den Klimaten der höheren Luftschichten. Es bringt zunächst die Haupttatsachen der vertikalen Temperaturverteilung in der freien Atmosphäre und dann, nach der neuen Bearbeitung von A. Wagner, Tabellen der Temperaturmittel bis zu 14 km Höhe über den verschiedensten Teilen der Erde. Daß schließlich die in der vorigen Auflage nur im Schwarzdruck hergestellte Karte der Klimazonen jetzt in der farbigen Darstellung von Meyers Konversations-Lexikon dem Werke beigegeben wurde, ist der größeren Anschaulichkeit dieser Ausführung wegen sehr zu begrüßen. Unter den neu aufgenommenen graphischen Darstellungen ist noch die Tafel zu erwähnen, die die jährlichen Gänge von Lufttemperatur, Niederschlagsmenge und Bewölkung in 27 der wichtigsten Klimate gibt.

Es ist kein Zweifel, daß auch die zweite Auflage des so beliebten Köppenschen Werkes für die Ver-

breitung klimatologischer Kenntnisse sehr viel beitragen wird. K. KNOCH, Berlin.

BRAAK, C., **Klimakunde von Hinterindien und Insulinde.** Handbuch der Klimatologie Bd. IV, Teil R, herausgegeben von W. KÖPPEN und R. GEIGER. Berlin: Gebr. Borntraeger 1931. 125 S., 29 Karten und 2 Diagr. 18×26 cm. Preis RM 31.20.

Für das tropische Monsungebiet Hinterindiens und die Inselwelt zwischen Asien und Australien ist in C. BRAAK sicher derjenige Bearbeiter gefunden worden, der als bester Kenner des dortigen Klimas anzusprechen ist. Als Direktor des holländischen Observatoriums in Batavia hat er jahrelang in diesem Klimagebiet gelebt und hat bereits in der großangelegten Klimatologie von Niederländisch-Indien ein Klimawerk geschaffen, wie wir es von keinem anderen Gebiet der Tropenzone besitzen.

Die meteorologische Organisation entwickelte sich in den einzelnen Teilen des Gebietes verschieden. Observatorien wurden zwar schon frühzeitig gegründet, so in Batavia im Jahre 1864, in Manila 1865. In Burma reichen einzelne Reihen sogar bis 1848 zurück, mit den eigentlichen Beobachtungsnetzen wurde aber später begonnen. Die Regierung von Niederländisch-Indien errichtete 1879 ein Netz von Regenstationen, das jetzt auf 2700 angewachsen ist, aber erst 1912 wurde ein Netz von Stationen höherer Ordnung organisiert. Auf den Philippinen entstand zwar auch bereits 1885 ein Beobachtungsnetz, es arbeitete jedoch nur bis 1898 und wurde dann 1901 wieder aufgebaut. Indo-China richtete 1902 ein Stationsnetz ein, die Beobachtungen wurden aber erst seit dem Jahre 1906 benutzt.

Die Darstellung beginnt mit einem allgemeinen Überblick über die Verteilung und Entwicklung der einzelnen Elemente im Jahresverlauf. Besprochen werden Luftdruck, die an die Entwicklung der Monsune gebundenen Niederschläge, Sonnenschein, Lufttemperatur, Stürme, Berg- und Talwinde. Kurze Ausführungen sind auch dem für das Tropenklima bezeichnendsten Zug, d. h. seiner Gleichmäßigkeit und auch der Frage, wie es vom Menschen empfunden wird, gewidmet.

Der Hauptteil des Buches wird von der Klimakunde der einzelnen Länder eingenommen. Er beginnt mit Indochina, dessen Norden (Tonkin) nur in den Sommermonaten von Mai bis September ein ausgesprochen tropisches Klima, in der übrigen Zeit des Jahres aber ein warmgemäßigtes Klima besitzt, in dem bei den niedrigsten Temperaturen des Januar Heizung in den Wohnungen notwendig wird. Die Abschnitte über Siam und Tenasserim (Burma) zeigen deutlich, daß hier klimatologisch noch vieles klarzulegen ist. Bei Siam wäre die Darstellung sicher klarer geworden, wenn sie sich an geographische Einheiten angelehnt hätte. Dem doch immerhin räumlich ganz ansehnlich und orographisch recht vielgestaltigen Burma wird nur eine halbe Druckseite gewidmet. Da, wo die meteorologische Organisation fehlt, muß die klimatologische Entwicklung notgedrungen zurückbleiben. Das Inselgebiet der Philippinen hebt sich vorteilhaft davon ab. Die Darstellung seines Klimas basiert hauptsächlich auf der Arbeit von CORONAS. Auf eigenen Forschungen fußt dann der Verf. größtenteils bei der Darstellung des äquatorialen Teils des asiatisch-australischen Monsungebietes, worunter Malakka, Sunda-Inseln, Molukken, Neuguinea, Bismarck- und Salomon-Inseln zusammengefaßt werden. Hier werden sehr viele Einzelheiten des Großklimas und teilweise auch der Lokalklimate gut herausgearbeitet.

Der Text wird durch kartographische Darstellungen reichlich unterstützt, teilweise sind sie allerdings nicht leicht lesbar, da die Umrisse der einzelnen Inseln zu wenig hervorgehoben sind. Das Kärtchen der Klimagebiete nach dem KÖPPENschen Einteilungsprinzip ist besonders zu erwähnen. Auch hier, wie in der Karte mit der Lage der Beobachtungsorte, wünschte man sich eine kräftigere Strichführung. Das reichhaltige Zahlenmaterial ist in einem Tabellenanhang übersichtlich vereinigt. Kleinere ergänzende Tabellen sind in dem Text eingefügt. Ein Literaturverzeichnis gibt die umfangreicheren Arbeiten an, die sich bisher mit Teilgebieten von Hinterindien und Insulinde beschäftigt hatten. K. KNOCH, Berlin.

NAPIER SHAW, **Manual of Meteorology.** Volume IV, Meteorological Calculus: Pressure and Wind. Cambridge: University Press 1931. XX, 359 S. und 79 Abbildungen. 18×26 cm. Preis 30 sh.

Dieses sehr breit angelegte Handbuch der Meteorologie gibt im ersten Band in einer historischen Einleitung einen Bericht über die Entwicklung der wichtigsten meteorologischen Probleme bis zur Gegenwart. Der zweite Band bringt einen für den praktischen Meteorologen besonders wertvollen Auszug aus dem auf der ganzen Erde gesammelten riesigen Beobachtungsmaterial. Im dritten Bande werden die physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre behandelt, und der jetzt in zweiter Auflage vorliegende vierte Band, dessen erste Auflage 1919 erschien, bringt die dynamischen und thermischen Grundlagen der theoretischen Meteorologie, also insbesondere die mathematischen Methoden der Meteorologie. Das Buch erhebt nicht den Anspruch, ein ausschließlich meteorologisches zu sein. Da nämlich seit Beginn der „elektrischen Ära" die dynamischen und physikalischen Grundprobleme der Atmosphäre von den Physikern oft vernachlässigt werden, müssen sie hier erst ausführlich erörtert werden. Der Leitgedanke dieses vierten Bandes ist, das Wetter als den sichtbaren Ausdruck der Energieumsetzungen in der Atmosphäre aufzufassen.

Nach Aufstellung der allgemeinen Bewegungsgleichungen in den ersten beiden Kapiteln werden die Beziehungen zwischen Wind und Druckgradient, Wind und Temperatur, die Abhängigkeit des Windes von der Höhe, die Turbulenzerscheinungen in der Atmosphäre und die Zyklonenbewegung ausführlich behandelt. Es wird besonders darauf hingewiesen, daß nicht die Druckunterschiede in der Atmosphäre, sondern die Ein- und Ausstrahlungsvorgänge die eigentliche Ursache der meteorologischen Vorgänge sind, wobei auch die Reibung an der Erdoberfläche und die Erdschwere eine wichtige Rolle spielen. Die Druckunterschiede sind nur eine Folge der Winde. Eine brauchbare Theorie des Windes muß sich auf die Energieumsetzungen in der Atmosphäre gründen und kann erst dann gewonnen werden, wenn unsere Kenntnisse über die atmosphärischen Strahlungserscheinungen exakt genug geworden sind. Der Kredit der meteorologischen Wissenschaft beim großen Publikum, der sich auf das Eintreffen der Wetterprognosen gründet, ist somit auch in starkem Maße von der Kenntnis der lokalen Strahlungsvorgänge abhängig. Für eine gedeihliche Entwicklung der Meteorologie wäre es nach Ansicht des Verfassers jedoch besser, wenn sie von den täglichen Wettervorhersagen befreit wäre.

H. SCHLICHTNIG, Göttingen.

HAEBERLIN, C., und P. PERLEWITZ, **Klima-Atlas für die Meeresheilkunde an der deutschen Seeküste.** Hamburg: C. Griese 1932. 5 S. und 27 Karten. 30×23 cm. Preis RM 3.—.

Der Atlas ist aus Vorträgen entstanden, die C. HAEBERLIN als Arzt in ärztlichen und anderen Vereinen gehalten hat. Das Fachmeteorologische hat P. PERLE-

WITZ beigesteuert. Das Werk will das an zerstreuten Stellen vorhandene Wissen in geeigneter Weise sowohl dem Arzt, der an der Meeresheilkunde interessiert ist, als auch dem großen Kreis der an dem Meere Erholungssuchenden übermitteln. Daß dabei die Form eines Atlasses mit sehr anschaulichen karthographischen Darstellungen gewählt wurde, ist sehr gut. Wie der Benutzer die Karten zu lesen hat, das findet er überdies in kurzgehaltenen textlichen Begleitworten treffend auseinandergesetzt. Gerade in diesen sind aus der Literatur eine große Menge von wissenschaftlichen Ergebnissen allerneuester Forschung enthalten, die auf andere Weise wohl schwerlich dem Leser in so bequemer Form geboten werden können.

Der erste Teil ist rein klimatologisch. Er umfaßt nach bekannten Quellen u. a. die Karten der mittleren Lufttemperaturverteilung im Meeresniveau, die Häufigkeit der Schwankungen um den Frostpunkt, die Verteilung der Hitze, Frost- und Eistage, Linien gleicher Kontinentalität, Luftdruck und Winde. Dort, wo es angängig ist, sind die extremen Monate dargestellt. Das dargestellte Gebiet reicht meistens bis zum 49. Breitengrad, also südlich der Mainlinie. Einige Karten greifen aber auch weit darüber hinaus, z. B. wird in den Luftdruck- und Windkarten der ganze Nordatlantik mit den ihn begrenzenden Kontinenten gegeben. Im Text wird überall auf die klimatischen Gegensätze zwischen den meeresnahen Teilen und dem Binnenlande hingewiesen.

Es schließt sich dann eine Gruppe von Karten ozeanographischen Inhalts an. Sie bringen die für die Gestaltung des Klimas so wichtigen Meeresströmungen im Nordatlantik, im besonderen ferner Strömungen, Salzgehalt und Oberflächentemperatur in der Nord- und Ostsee. Die Wirkung der warmen Meeresströmungen illustriert dann die Karte der Linien gleicher Temperaturanomalien in Europa.

Die Niederschlagsverteilung ist nicht kartographisch dargestellt, Kurven bringen lediglich den jährlichen Gang der Anzahl der Regentage auf den Nordseeinseln und der Nebelhäufigkeit in Gegenüberstellung zu den Verhältnissen im Binnenlande. Eine typische Erscheinung, das Überwiegen der Regenmenge August bis Oktober über die Menge Mai bis Juli, das besonders an den nordfriesischen Inseln vorhanden ist, wird in einem Kartenausschnitt gegeben. Eine von TROLL entworfene Karte der Vegetationsgebiete in Europa und die bekannte WERTHsche Karte der Klima- und Vegetationsbezirke beschließen den Atlas.

Von den textlichen Darstellungen seien besonders hervorgehoben die über die Strahlung, Luftelektrizität, Luftkörper, Jodgehalt der Luft usw. Selbstverständlich ist damit, wie HAEBERLIN in seinem Vorwort selbst sagt, das „in den Schatzkammern der Fachgelehrsamkeit vorhandene Gold" nicht erschöpfend aufgezählt, aber jeder, dem daran liegt, daß heilklimatische Kenntnisse in immer weitere Kreise dringen, wird zufrieden sein mit dem, was die Verff. bieten, und deshalb kann man dem Werk nur die allerweiteste Verbreitung wünschen.

Bei einem evtl. Neudruck könnten sicher leicht die folgenden Wünsche berücksichtigt werden. Das Inhaltsverzeichnis sollte auch die Seitenzahlen (nicht nur die Kartennummern) bringen. Für die Eis-, Frost- und Sommertage hätten schon die neueren Zahlen des Klimaatlasses von Deutschland zur Verfügung gestanden.

Die Begriffe Kontinentalität und Ozeanität sind leider in der Fachliteratur ganz verschieden definiert. Daß auf Karte 11 die SCHREPFERschen Werte, auf Karte 12 dagegen die Darstellung von SPITALER-SWOBODA gegeben wird, dürfte den Leser, der nicht über besondere Fachkenntnisse verfügt, verwirren. Das, was im Text darüber gesagt wird, kann diese Verwirrung kaum beseitigen. Eine Darstellung hätte meines Erachtens genügt. Die auf Seite 44 erwähnte Regenarmut der deutschen Flachküsten ist vielleicht doch nicht so stark vorhanden. Mangelnder Windschutz der Regenmesser an den Küstenstationen hat vielleicht zu kleine Mengen ergeben. Der Ausdruck Ultraviolettstunden (Kurve 24) ist nicht ohne weiteres verständlich. K. KNOCH, Berlin.

MARKGRAF, H., und E. DOBERS, **Die Wetterkarte im neuzeitlichen Unterricht.** I. Teil: *Die Zyklone.* 9 Taf. 1 Tasche mit 150 Arbeitskarten und 30 Vorlagen. Hamburg 1931[1]. Preis RM 2.—.

Eine richtige Würdigung der Wettervorhersage durch die Allgemeinheit setzt voraus, daß diese über die Grundlagen und auch über die Grenzen der Prognose wenigstens einigermaßen unterrichtet ist. Die Vorlesungen und Übungen an den Universitäten und Hochschulen können dieses Ziel nicht erreichen, da der dadurch erfaßte Kreis immer verhältnismäßig klein bleiben wird, es ist notwendig, meteorologische Kenntnisse immer mehr in den Schulunterricht hineinzutragen. In dieser Hinsicht ist im letzten Jahrzehnt vieles bereits geschehen, und selbst die neusten Forschungen der Meteorologie werden in den Schullehrbüchern teilweise bereits berücksichtigt. In diesem Sinne Material für den Arbeitsunterricht zu liefern, ist die Absicht der Verfasser. Sie denken dabei in erster Linie an die Unterstützung der Lehrkurse an Seefahrtsschulen, doch werden sicher auch die an der Meteorologie interessierten Lehrer anderer Anstalten gern nach dem hier gebotenen Lehrmittel greifen.

Als Vorübung ist das Zeichnen der Isobarenkarte vom 7. Mai 1930, 8 Uhr, vorgesehen, die nur Luftdruck und Wind berücksichtigt. Als Beispiel einer typisch entwickelten Zyklone wird dann das Material zur Durcharbeitung nach der modernen Methode des Wetterdienstes für die mit ihrem Kern über dem Nordmeer liegende Zyklone vom 3. Januar 1930 gegeben. Eine große Karte bringt die Wetterkarte mit Kennzeichnung der einzelnen Luftkörper und Fronten, Teilkärtchen geben gesondert die Temperaturverteilung, Niederschlagsverteilung, Bewölkung, Strömungsfeld, Druckfeld und Luftdruckänderungen. Einige Schnitte, die durch verschiedene Gebiete der Wetterkarte gelegt werden, unterstützen sehr gut die Vorstellungen über den vertikalen Aufbau, besonders auch über die Wirkung der Geländeformen auf die Witterung. Die arbeitsunterrichtliche Behandlung der in dieser Wetterlage steckenden Probleme wird ausführlich erklärt, so daß auch der mit den neuen Methoden noch nicht Vertraute sich ohne Schwierigkeiten einarbeiten kann.

Allerdings muß betont werden, daß die in der Musterkarte angewandten Bildzeichen nicht von allen Dienststellen in Deutschland eingeführt sind. In dieser Beziehung besteht noch keine Einigkeit. Das gleiche gilt [illegible] von dem neuen Druckmaß, dem Millibar, von dem die Verff. behaupten, es sei allgemein eingeführt. Trotz alledem ist die vorliegende Musterbehandlung einer Wetterlage ein sehr brauchbares Hilfsmittel für den Unterricht. K. KNOCH, Berlin.

[1] Die gleiche Abhandlung ist unter dem Titel: Schulmäßige Auswertung und Bearbeitung einer Wetterkarte als Heft 8 des 49. Bandes der Schriftreihe: „Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte" erschienen.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.